

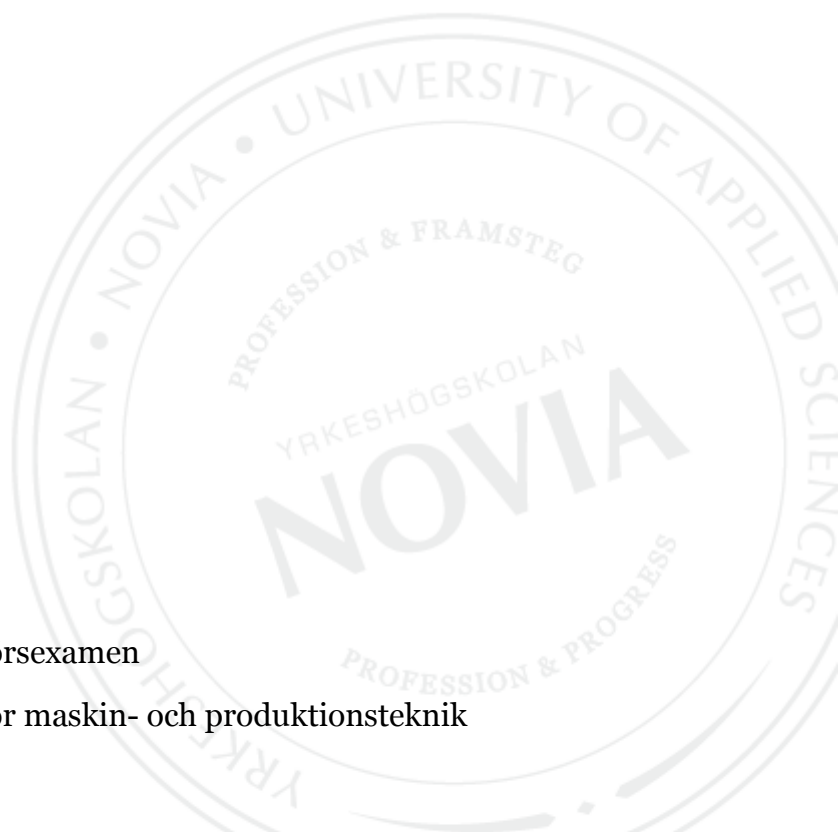
Förbättring av sotblåsare i tertiäröverhettaren

Sara Nyberg

Examensarbete för ingenjörsexamen

Utbildningsprogrammet för maskin- och produktionsteknik

Vasa 2011



EXAMENSARBETE

Författare: Sara Nyberg

Utbildningsprogram och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa

Inriktningsalternativ/Fördjupning: Drift- och energiteknik

Handledare: Andreas Gammelgård

Titel: Förbättring av sotblåsarna i tertiäröverhettaren

Datum: 1. 4.2011

Sidantal: 38

Bilagor: 6

Abstrakt

Examensarbetet berör problem med sotningsutrustningen vid en biobränsleanläggning. Syftet var att reda ut orsaken till sotblåsningsslansarnas upprepade brott och deformationer. Arbetet genomfördes med hjälp av litteraturstudier, kontroller och mätningar på plats, samt kontakt med leverantören och andra personer med erfarenhet inom området.

Genom samråd med tillverkarens tekniska avdelning samt mätningar inne i överhettaren kunde det konstateras att dysrörens stödkonstruktion inte överensstämde med tillverkarens angivelser. Detta har lett till att belastningen på dysrören har varit för hög i förhållande till den i överhettaren rådande temperaturen. Den felaktiga belastningen har gett upphov till materialkrypning, vilket har resulterat i deformationer som i vissa fall har lett till brott. Problemet kan således åtgärdas genom en korrekt placering av stöden.

Det har även gjorts utredningar om huruvida kondensat kan ha blivit kvar i ångrören och orsakat skada på utrustningen. I examensarbetet behandlas därtill ångförbrukning vid sotblåsning, det ekonomiska värdet av ångan samt möjligheter till inbesparingar.

Språk: svenska

Nyckelord: sotblåsning, ångsotning, dysrör

Förvaras: Webbiblioteket Theseus.fi

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Sara Nyberg

Koulutusohjelma ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot: Käyttö- ja energiatekniikka

Ohjaajat: Andreas Gammelgård

Nimike: Tertiäritulistimen nuohointen parantaminen

Päivämäärä: 1.4.2011

Sivumäärä: 38

Liitteet: 6

Tiivistelmä

Opinnäytetyö käsittelee biolaitoksen nuohousvarustuksessa esiintyvää ongelmaa. Tarkoituksena oli selvittää nuohouspeitseinä toistuvasti esiintyviä murtumia ja epämuodostumia. Työn toteutukseen käytettiin kirjallisuusopintoja, paikan päällä suoritettuja tarkistuksia ja mittauksia sekä yhteyttä toimittajaan ynnä alan kokemusta omaaviin henkilöihin.

Neuvottelemalla tuottajan teknisen osaston kanssa sekä tulistimessa tehtyjen mittausten avulla voitiin todeta, että suutinputkien tukirakennelma ei ollut yhtäpitävä tuottajan ilmoituksen mukaan. Tämä on johtanut suutinputkien yllirasitukseen suhteessa tulistimessa vallitsevaan lämpötilaan. Epäsuhtainen rasitus on aiheuttanut materiaalin virumista, minkä seurauksena on syntynyt epämuodostumia, jotka tietyissä tapauksissa ovat johtaneet katkoon. Ongelma pystytään ratkaisemaan tukien oikealla sijoittamisella.

Selvitettiin myös mikäli lauhdetta on jäänyt höyryputkiin näin vaurioittaen varustusta. Opinnäytetyössä käsitellään lisäksi nuohouksen höyrykulutus, höyryn taloudellinen arvo sekä säästömahdollisuudet.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: nuohous, suutinputki, nuohoushöyry

Arkistoidaan: Opinnäytetyö on saatavilla joko ammattikorkeakoulujen verkkokirjastossa Theseus.fi.

BACHELOR'S THESIS

Author: Sara Nyberg

Degree Programme: Mechanical and production engineering

Specialization: Operation and energy engineering

Supervisor: Andreas Gammelgård

Title: Improvement of soot blowers in the tertiary superheater

Date: 1.4.2011

Number of pages: 38

Appendices: 6

Abstract

This thesis deals with problems with the soot blowing equipment in a biofueled power plant. The aim of this project was to investigate the cause of the repeated deformation and fracture of the soot blowers' nozzle lances. The work was carried out by means of literature reviews, inspections and measurements on site and through contact with the supplier and other persons with experience in the field.

Through consultation with the manufacturer's technical department and measurements inside the superheater, it was discovered that the nozzle lances' bearing construction is not consistent with the manufacturer's specifications. This has resulted in the congestion on the nozzle lances being too high in relation to the prevailing temperature in the superheater. The incorrect congestion has caused material creep, which has resulted in deformation that in some cases has led to broken nozzle lances. The problem can thus be addressed through proper placement of the bearings.

Inquiries have also been made into whether the condensate may have remained in the steam pipes and caused damage to the equipment. The thesis also deals with steam consumption at soot blowing, the economic value of the steam and the opportunities for savings.

Language: Swedish

Key words: soot blowing, steam sooting, nozzle lances

Filed at: The thesis is available at the electronic library Theseus.fi

Innehållsförteckning

Abstrakt
Tiivistelmä
Abstract

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund till examensarbetet	1
1.2	Syfte	2
1.3	Avgränsningar	3
2	Funktionsbeskrivning av kraftverket	3
2.1	Bränslesystem	3
2.2	Vatten/ångsystem	4
2.3	Luft/rökgassystem	4
2.4	Turbinsidan	6
3	Om företaget	7
3.1	CFB-Panna	8
4	Sotblåsning	9
4.1	Ångsotning	9
4.2	Alternativa metoder	10
4.2.1	Ljudsotning	11
4.2.2	Vattensotning	12
4.2.3	Luftsotning	12
4.2.4	Sprängsotning	13
4.2.5	Kulsotning	14
4.3	Minskning av sotblåsningsbehov	15
4.4	Behovsstyrd sotblåsning	16
4.5	Allmän beskrivning av sotblåsningssystemet	18
4.6	Diamonds IK1M-sotblåsare, funktionsbeskrivning	19
4.7	Vad kostar en sotblåsning?	23
4.7.1	Beräkningar	24
4.7.2	Slutsatser	25
5	Utredning	25
5.1	Rörkonstruktion	26
5.2	Rörens lutning	27
5.3	Temperaturmätning vid rören	28
5.4	Kontakt med leverantören	30
5.5	Utredning av temperaturen i tertiäröverhettaren	30

5.6	Dysrörens stödkonstruktion	31
6	Resultat	34
6.1	Förslag till fortsatt forskning	35
6.2	Konklusioner.....	36
7	Källförteckning.....	38

Bilageförteckning

Bilaga 1, Inmatningssystemet för fast bränsle.

Bilaga 2, Vatten/ångsystem.

Bilaga 3, Luft/rökgassystem.

Bilaga 4, Sotblåsningssystemet.

Bilaga 5, Effektberäkningar.

Bilaga 6, Värmebalansdiagram.

Bildförteckning

Figur 1. Schemabild över hur värmeöverföringen i en ångpanna sker. s.1

Figur 2. Värmeupptagningens fördelning över de olika värmeupptagningsytorna. s. 1

Figur 3. Schemabild över pannan, tertiäröverhettaren där de berörda sotblåsarna finns är inringade. s. 2

Figur 4. Rökgasens väg genom anläggningen. s. 5

Figur 5. Turbinen vid AK 2.

Figur 6. Bild av byggnaden AK 2. s. 7

Figur 7. Bränsleleverans. s. 7

Figur 8. Turbinen vid AK2. s. 7

Figur 9. Bild av CFB-pannans funktionsprincip. s. 8

Figur 10. Bild av sotblåsarens munstycksrör inne i tertiäröverhettaren. s. 10

Figur 11. Sotare med hörbart ljud. s. 11

Figur 12. Sotare med infraljud. s. 11

Figur 13. Principskiss av ett system för vattensotning. s. 12

Figur 14. Schemabild från AB Sprängsotnings Bang & Clean metod. s.13

Figur 15. Jämförelse före och efter sprängsotning. s.13

Figur 16. Bilden visar hur sotningskulorna via en spridare sprids ut över tuberna. s. 14

Figur 17. Schemabild av ett kulsotningssystem. s. 14

Figur 18. Testringar från Idbäckverket i Nyköping. s. 15

Figur 19. Smart Sootblowers rörelsemönster. s. 16

Figur 20. Principschema för hur ett system för intelligent sotblåsning kan se ut. s. 17

Figur 21. Översiktsvy av Diamond Powers sotblåsare IK1M/IK0,5M s. 19

Figur 22. Skiss över sotblåsarens tallriksventil. s. 20

Figur 23. Bild av ventilmekanismens funktionsprincip. s. 20

Figur 24. Sotblåsarens rörelsemönster. s. 21

Figur 25. Dysrör. s. 22

Figur 26. Bild av sotblåsarens yttre konstruktion. s. 22

Figur 27. Trend över ångförbrukningen. s. 25

Figur 28. Temperaturtrend före åtgärd. s. 28

Figur 29. Temperaturtrend efter åtgärd. s. 28

Figur 30. Graf över temperaturökningen under dräneringssekvensen, sotblåsare 5-8. s. 29

Figur 310. Graf över den beräknade temperaturen efter tertiäröverhettarpaket två. s.30

Figur 32. Kolstålets hållfasthetsegenskaper som funktion av temperaturen. s. 32

Figur 33. Bild på ett skadat stöd, sotblåsare 6. s. 33

Figur 34. Bild på ett helt stöd, sotblåsare 7. s. 33

Ordförklaring

Avlagringar – Stoft från det askproducerande bränslet som har bildat en beläggning på de värmeöverförande ytorna.

Dysrör – Sotblåsarens munstycksrör som finns lagrat inne i pannan.

Ekonomiser – I ekonomisern överförs restvärme från rökgaserna till matarvattnet.

Erosion – Materialavverkning som i detta sammanhang orsakas av sotningsmediets anslag mot tuberna.

Förångare – Det stället där matarvattnet förångas.

Korrosionserosion – När erosionen följs av korrosion orsakat av sotningsmediets fuktighet pratar man om korrosionserosion.

Rökgasluvo – Luvo är en förkortning på tyskans "luftvorwärmung", luftförvärmare på svenska.

Sotblåsare – Apparat som genom att blåsa sotningsmedia mot de värmeöverförande ytorna frigör dessa från avlagringar.

Ångdom – Avskiljer ånga från vatten.

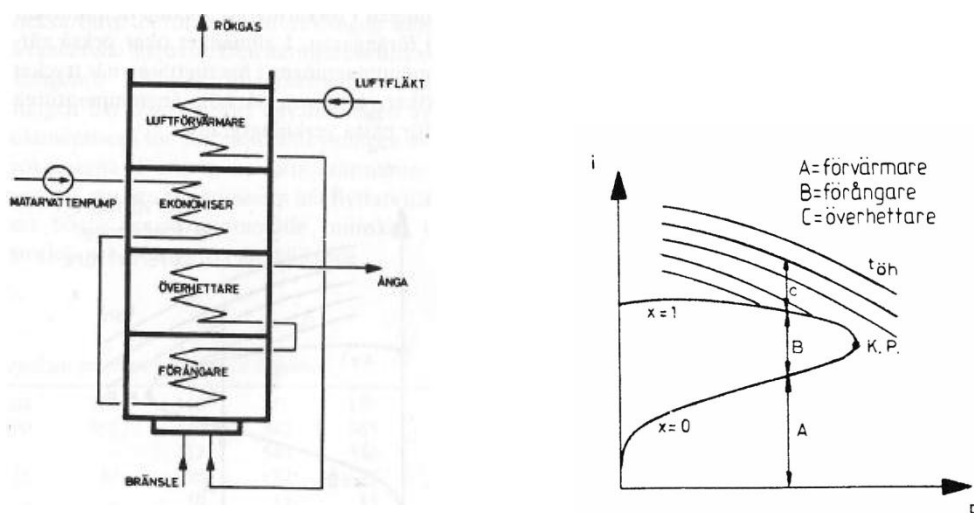
Överhettare – I överhettaren uppvärms ångan över ångbildningstemperaturen, ångans energiinnehåll ökar.

1 Inledning

Detta examensarbete har gjorts åt företaget Oy Alholmens Kraft Ab i Jakobstad. Arbetet gjordes under våren 2011 och avslutar mina ingenjörstudier vid Yrkeshögskolan Novia, utbildningsprogrammet för maskin- och produktionsteknik. Uppgiften var att reda ut problemen med anläggningens sotblåsningsutrustning. Arbetet utfördes i samarbete med driftchef Björn Åkerlund, driftmästare Sami Lassila samt underhållsmästare Lauri Väätäjä.

1.1 Bakgrund

I en ångkraftprocess omvandlas vatten till ånga som i sin tur utför ett mekaniskt arbete. Genom förbränning blir bränslets kemiska energi till värmeenergi, som sedan upptas av vattnet vilket kommer att förångas. De flesta bränslen är askproducerande, vilket ger upphov till avlagringar på de värmeöverförande ytorna. Avlagringarna minskar värmeöverföringen och det måste tillföras mera värme för att den erforderade ångtemperaturen skall upprätthållas. Detta leder till att mera energi avgår som spillvärme via rökgaserna, vilket medför en försämrad verkningsgrad. För att förhindra detta används sotapparater som skall frigöra ytorna från avlagringar.

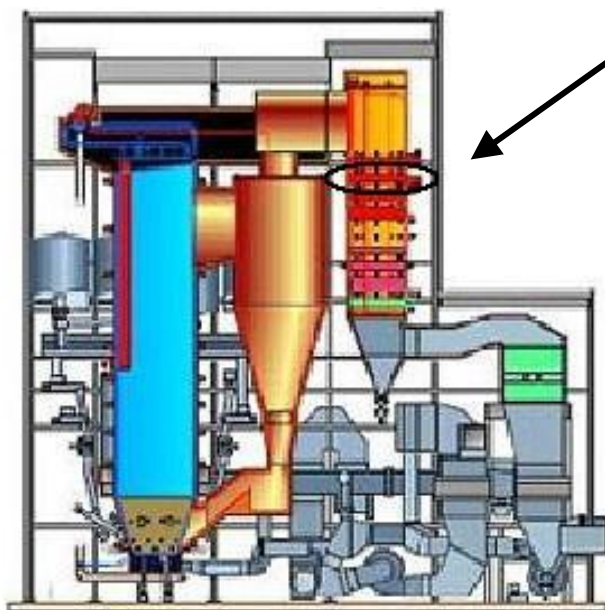


Figur 1. Schemabild över hur värmeöverföringen i en ångpanna sker.

Figur 2. Värmeupptagningens fördelning över de olika värmeupptagningsytorna .

(Alvarez, 2003)

Vid Alholmens Kraft har sotblåsarna i pannans första tertiäröverhettare varit problematiska, vid så gott som varje stagnation har en eller flera sotblåsare varit söndriga. Dysrören som finns inne i överhettaren har gått av eller varit deformerade, ibland har munstycken tryckts ur lansarna. Problemet har gett upphov till stora underhållskostnader, men också till bristfällig sotblåsning, som i sin tur har lett till nedsatt värmeöverföring samt dåligt flöde genom tertiäröverhettaren. Det var således av ekonomiska skäl nödvändigt att hitta orsaken och få slut på problemet.



Figur 3. Schemabild över pannan, tertiäröverhettaren där de berörda sotblåsarna finns är inringade. (www.power-technology.com)

1.2 Syfte

Mitt huvudsyfte är att fördjupa mig i ämnet, tillämpa de kunskaper jag erhållit genom mina studier samt förvärva ny kunskap inom området för min studieinriktning. Delsyftet är att utreda orsaken samt eventuellt hitta en lösning på problemet.

1.3 Avgränsningar

Examensarbetet begränsas till utredningar och åtgärder för de befintliga sotblåsarna. En snabb genomgång av alternativa metoder finns med i teoridelen, men inga större utredningar om dessa har gjorts eftersom det inte har varit aktuellt att byta sotblåsningsmetod.

2 Funktionsbeskrivning av kraftverket

I ett ångkraftverk förångas vatten genom att värmeenergi tillförs från en förbränningsprocess. Ångan upphettas till lämpligt tryck och temperatur, varefter den leds till turbinen för att utföra ett mekaniskt arbete. Om vattenmängden som tillförs motsvarar mängden ånga som tas ut ur processen kommer trycket i anläggningen att hållas konstant.

Ett ångkraftverk kan i princip indelas i fyra olika delar, bränslesystem, vatten/ångsystem, luft/rökgassystem och turbinsida. Det finns olika typer av pannor och anläggningarna skiljer sig från varandra beroende på leverantör, effekt, bränsletyper och användningsområden. I detta kapitel kommer anläggningen vid Alholmens Kraft att beskrivas.

2.1 Bränslesystem

Till bränslesidan hör bränslemottagnings- och hanteringsanläggningar, transportörer, bränslesilor samt inmatnings- och förbränningsutrustning. Vid pannan AK2 kommer bränslet från de olika beredningsstationerna till ett bränsletransportörtorn där det fördelas i fyra biobränslesilor. Kollinjen är separat från biobränslelinjen och har en egen kolsilo, först vid blandskruvarna blandas kolet med det övriga bränslet. De fyra bränslelinjerna är oberoende av varandra och full effekt kan nås med tre linjer. Bränslet matas in i pannan på sammanlagt elva olika punkter, sex på framsidan och fem på baksidan. På den främre väggen sker inmatningen via sex matarskruvar, på den bakre väggen matas bränslet via tre slussmatare direkt in i cyklonernas returkanaler, samt via två matarskruvar som är placerade mellan cyklonerna. I bilaga 1 kan man se hur systemet för fast bränsle är arrangerat. (Jurttila J., Roppo M., 2001, ss. 3–4)

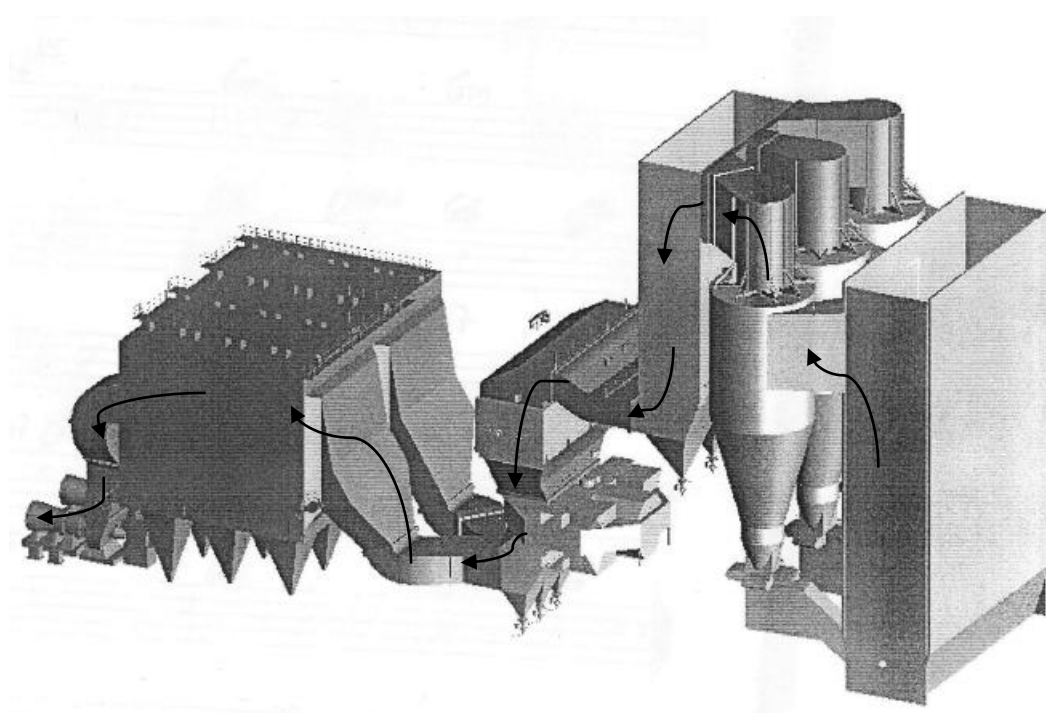
2.2 Vatten/ångsystem

Huvudkomponenterna på vatten/ångsidan är matarvattentank, matarvattenpump, ekonomiser, förångare, ångdom och överhettare. Systemets uppgift är att tillhandahålla den mängd överhettad ånga som erfordras för den aktuella driften. Matarvattenmängden regleras så att ångdomsnivån alltid hålls korrekt. Innan matarvattnet når ångdomen har det passerat högtrycksförvärmare och ekonomiser 1-3. Ekonomisernas uppgift är att överföra rökgasernas restvärme till matarvattnet. I ångdomen avskiljs vatten från ånga, vattnet fortsätter neråt genom pannans fallrör och leds sedan till förångaren. Förångaren utgörs av eldstadens väggar samt förångningselement. Vattnet förångas, då ångan stiger leds den tillbaka till ångdomen. Ångdomen är till hälften fylld med vatten, densitetsskillnaden mellan vatten och ånga leder till en naturlig cirkulation. Den i ångdomen avskilda ångan fortsätter sedan till överhettaren. Det finns flera överhettarpaket, den indelas i primär-, sekundär-, och tertiäröverhettare. Överhettare i cyklon, sandlås samt andra dragets bärande rör tillhör primäröverhettaren och utgör det första steget före den egentliga primäröverhettaren. Efter det första och andra överhettarsteget regleras ångtemperaturen genom matarvatteninsprutning. När ångan lämnar det tredje överhettarpaketet, tertiäröverhettaren, är ångtemperaturen 545 °C och trycket är 165 bar. Ångan kallas nu färskånga och leds till turbinens högtrycksdel. Efter att ångan passerat turbinens högtrycksdel mellanöverhettas ångan. Mellanöverhettningen sker i två steg, en kall och en het mellanöverhettare. Ångtemperaturen som uppnås är 545 °C och trycket är 37,3 bar. Ångan är nu het mellanöverhettad ånga och kommer att ledas till turbinens mellantrycksdel. I bilaga 2 kan man följa med tryck- och temperaturförändringarna i vatten/ångsystemet. (Jurtila J., Roppo M., 2001, ss. 2–18)

2.3 Luft/rökgassystem

Till luft/rökgassystemet hör luftfläktar, luftförvärmare, cirkulationsgasfläkt, rökgasfläktar, utrustning för rökgasrening samt skorsten. Pannans luftsystem kan i huvudsak indelas i primär- och sekundärluftsystem vilka vardera har två fläktar. Både primär- och sekundärluften uppvärms av den roterande rökgasluvon. Rökgasluvon består av ett stort regenerativt värmepaket med långsam rotationshastighet, ca 1 rpm. Restvärme från rökgaserna lagras i värmepaketet och överförs till den genomströmmande förbränningsluften. Primärluftens huvudsakliga uppgift är att fluidisera sandbädden, men den tillför också en liten del av erforderliga förbränningsluften. Efter att primärluften

förvärmts fördelas den i tre luftfördelningslådor som är belägna under rosten. Luften strömmar sedan genom rostens fluidiseringsdysor. Sekundärluftsytet förser pannan med förbränningsluft. I cyklonerna avskiljs fasta partiklar från rökgasen, rökgaserna fortsätter uppåt genom cyklonens centralrör och vidare till andra draget. Värmen från rökgaserna upptas av värmeytpaketen i andra och tredje draget, samt av rökgasluvon. Rökgaserna kommer sedan att passera ett elfilter där de allra minsta partiklarna avskiljs. När rökgaserna passerat elfiltret leder två stycken rökgasfläktar vidare dessa till den 130 meter höga skorstenen. Efter rökgasfläktarna finns ett uttag till cirkulationsgassystemet vars uppgift är att kyla fluidbädden. Eftersom största delen av syret redan är förbrukat fungerar cirkulationsgasen som en neutral kylande gas. All flygaska transporteras till en flygasksilo med pneumatiska asksändare, bottenaskan transporteras bort med skruvar och till systemet tillhörande transportörer. I bilaga 3 kan man se temperaturer, flöden och tryck i luft/rökgassystemet. (Jurtila J., Roppo M., 2001, ss. 2–6)

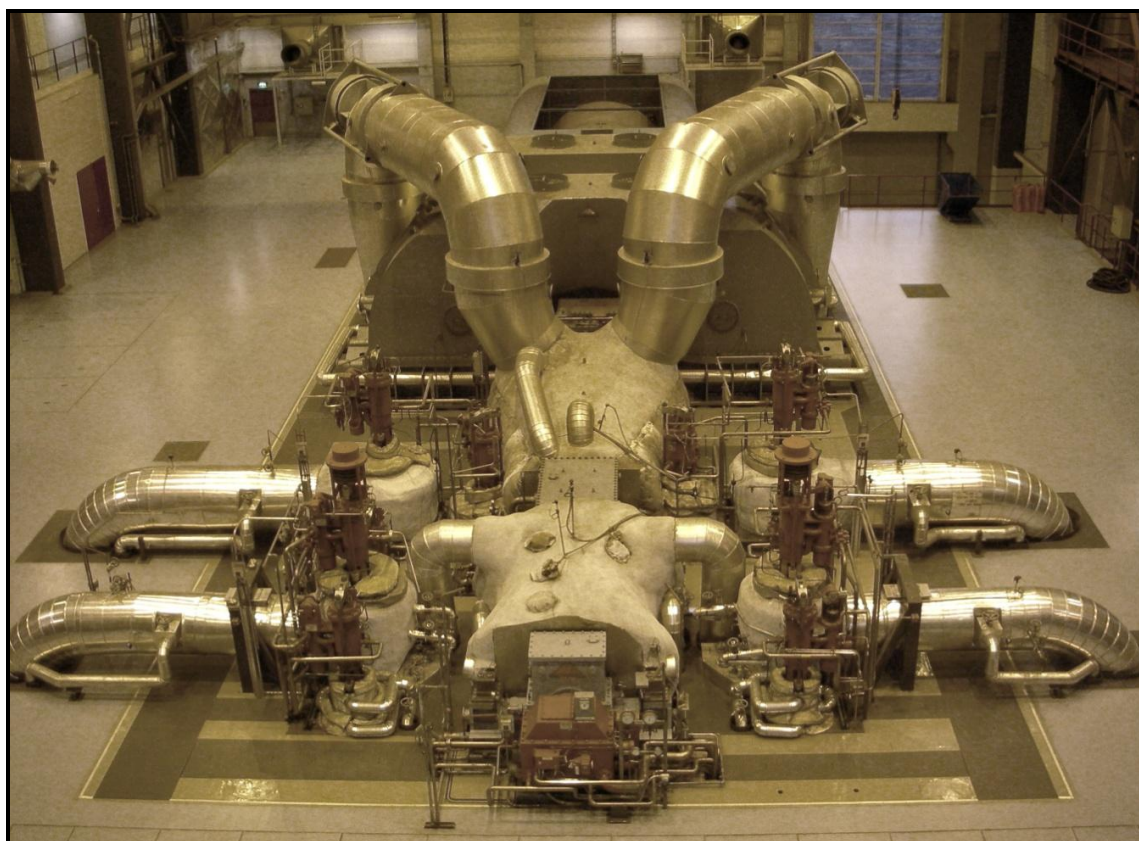


Figur 4. Rökgasens väg genom anläggningen. (Kvaerner Power, Drift- och underhållsinstruktioner 1/1)

2.4 Turbinsidan

Till turbinsidan hör turbin, kondensor samt anläggning för kondensathantering. Turbinen är en trestegsturbin, den består av ett högtrycks-, ett mellantrycks- och ett lågtryckshus. Turbinen har en rotationshastighet på 3000 rpm och driver en generator med samma varvtal, vilket motsvarar nätfrekvensen på 50 Hz. Processånga och fjärrvärme tas från mellanavtappningar i turbinens mellan- och lågtrycksdel, ånga från mellanavtappningarna används också för att värma upp matarvatten och kondensat. Turbinen är levererad av det ryska företaget LMZ.

När ångan har passerat turbinen och når kondensorn hålls den i ångform med hjälp av det rådande undertrycket. Undertrycket i kondensorn hålls av en ejektor. Kylningen sköts av två stycken pumpar, som har en sammanlagd maxkapacitet på över 7,5 m³/s. Kylvattnet strömmar igenom 21 520 stycken tolv meter långa titanrör, vilka har en sammanlagd värmeöverföringsyta på 15 350 m². Kylmediet är havsvatten och temperaturstegringen i processen är max 13 °C. Kondensatet renas och förvärms innan det till slut kommer tillbaka till matarvattentanken.



Figur 5. Turbinen vid AK2.

3 Om företaget

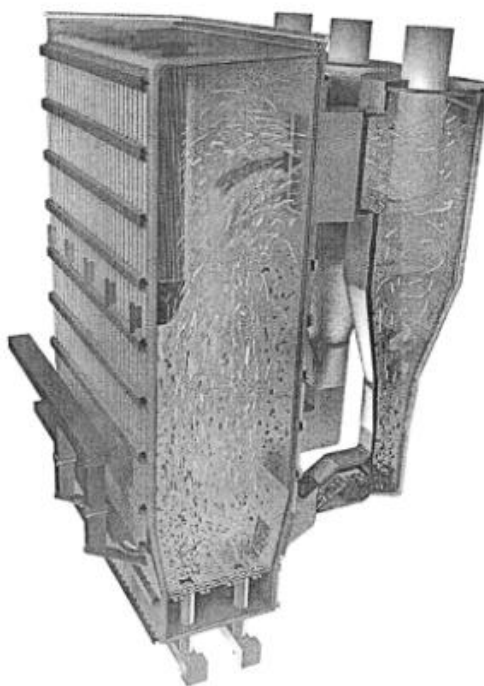
Alholmens Kraft är beläget på Alholmen, UPM-Kymmene OY:s fabriksområde i Jakobstad. Kraftverket är världens största bibränsledrivna kraftverk. Den knappt 10 år gamla CFB-pannan AK2 har en maximal förbränningseffekt på 592,2 MW och förbrukar vid full effekt ca 800 kubikmeter bränsle per timme. Turbinen producerar 260 MW eleffekt, 100 MW processånga samt 60 MW fjärrvärme. Processången används vid UPM:s fabriker, fjärrvärmen nyttjas både på fabriksområdet och i staden Jakobstad. Företaget äger även en barkpannan AK1 som tidigare ägts av UPM:s fabriker. Barkpannan används under stagnation, samt som toppkraftanläggning. Som bränsle används i huvudsak träbaserade bibränslen som är restprodukter från träförädlingsindustrin, hit hör bark, flis samt kross av ris och stubbar. Torv utgör också en stor andel av bränslet. Kraftverket har även en skild mottagningsanläggning för REF-avfall, vilket är energiavfall från olika avfallsbolag. Kol används som stöd- och reservbränsle och utgör ca 10–15 % av bränsleförbrukningen. Trots att endast 50 personer är anställda för driften av kraftverket, har en exceptionellt hög tillgänglighet på över 99 % kunnat hållas.



Figur 6. Bild av byggnaden AK 2. Figur 7. Bränsleleverans. Figur 8. Turbinen vid AK2.
(www.alholmenskraft.com)

3.1 CFB-panna

Pannan AK2 är av CFB typ, d.v.s. Circulating Fluidised Bed, på svenska cirkulerande fluidbädd eller virvelbäddpanna. Med fluidisering avses att fasta partiklar tillsammans med luft får vätskeliknande egenskaper. Pannan är utrustad med tre stycken cykloner vilka bädden cirkulerar genom, fluidbädden består av sand samt en liten andel bränsle. Bädden rör sig uppåt genom eldstaden, avskiljs i cyklonerna och kommer via sandlåsen tillbaka till eldstadens nedre del. På detta vis avskiljs sand och alla oförbrända partiklar, endast rökgaserna tillåts fortsätta till andra draget via mellankanaler. Eldstaden mäter 8,5 x 24 m och är 40 m hög. Denna panntyp möjliggör en stor bränsleflexibilitet och en hög verkningsgrad. Färskångparametrarna är höga, 165 bar/545 °C vilket är väldigt högt för en biobränsleeldad panna. Temperaturen i eldstaden är ganska låg, den ligger mellan 700 och 900 °C vilket ger låga emissioner samt förhindrar att askan smälter. Hastigheten i pannan är maximalt 5,5 m/s, detta gör att bränslet finfördelas och blandas jämnt. Pannan är levererad av Kvaerner Power Ab. (Kvaerner Pulping Oy Jurtila J., Roppo M., 2001, ss. 1-4 kap. 2.1)



Figur 9. Bild av CFB-pannans funktionsprincip. (Kvaerner Power, Drift- och underhållsinstruktioner 1/1)

4 Sotblåsning

Sotblåsning är en viktig åtgärd i alla pannor som använder sig av askproducerande bränslen. Beläggningar på panntuberna ger upphov till en minskad värmeöverföringsförmåga, vilket leder till att mera värme måste tillföras för att den krävda ångtemperaturen skall bibehållas. Detta leder i sin tur till en sänkt verkningsgrad. Vanligtvis är sotningsmediet ånga, men det finns även andra sotningsmetoder. Valet av sotningsmetod baseras på ett antal faktorer, sotningsställe, rökgastemperatur, bränsle och beläggningsskarakteristika spelar in. Vid AK2 finns 42 stycken ångsotblåsare. Sotblåsarna är placerade vid tertiär-, primär-, mellanöverhettare, ekonomiser 1-3 samt vid pannans roterande luftförvärmare. Examensarbetet rör sotblåsarna i tertiäröverhettarens första paket, dvs. fyra stycken roterande sotblåsare. I bilaga 4 kan man se hur sotblåsningssystemet ser ut.

4.1 Ångsotning

Ångsotning är den mest förekommande sotningsmetoden. Ångsotblåsarnas konstruktion varierar beroende på användningsområde. Vid ångsotning sprutas ånga mot tuberna genom munstycken. När ångan träffar tubens avlagringar slits dessa loss. På detta vis rengörs tuberna så att värmeöverföringsförmågan återställs.

Ångsotningsapparater som är helt eller delvis utdragbara är den mest temperaturtåliga konstruktionen eftersom lansen endast befinner sig i pannan under själva sotningen. Dessa sotblåsare har oftast få munstycken, då de främst används i överhettare på större pannor. Få munstycken ger ett högre ångtryck, vilket leder till en högre anslagskraft.

Fast roterande lansar med ett begränsat rörelsemönster har i regel flera munstycken, därför används dessa där en lägre anslagskraft krävs.

Sotblåsare utformade som ett "T" kallas krattsotblåsare. Denna modell kan användas där avlagringarna inte sitter hårt fast, och då en bra spridning på sotningsmediet är att föredra. Vanligt är att krattsotblåsare används för att rengöra roterande luftförvärmare.

Munstyckenas utformning, antal och anslagsvinkel varierar beroende på beläggningens hårdhet.

Finns det kondensat i sotningsmediet kommer detta att ge upphov till en större anslagskraft. Detta kan leda till korrosion och erosion på panntuberna, vilket kan orsaka sprickbildning och läckage. Som motåtgärd kan tubskydd installeras.



Figur 10. Bild av sotblåsarens munstycksrör inne i tertiäröverhettaren.

4.2 Alternativa metoder

Det finns även andra sotblåsningsmetoder än ångsotning. Beroende på vilket bränsle som används, samt temperaturen på sotningsplatsen varierar avlagringarna i mängd och hårdhet. Det är viktigt att sotningsmetoden är optimal för de förhållanden som gäller vid den aktuella sotningsplatsen.

4.2.1 Ljudsotning

Ljudsotning eller akustisk sotning blir en allt vanligare sotningsmetod. Det finns två skilda ljudsotningsmetoder, hörbart ljud och infraljud. Vid hörbart ljud används ljudhorn. Tryckluft får ett membran att vibrera vilket alstrar ljud. Fördelen med ljudsotning är att ljudpulsen studsar i alla riktningar och når tuberna från flera håll. Energiåtgången för denna sotningsmetod är liten, men som ensamstående sotningsmetod är den föga effektiv. Metoden verkar inte vara tillräckligt kraftig för att kunna avlägsna beläggningar, men som komplement till ångsotblåsning kan den minska ångsotningsbehovet eftersom ljudpulserna förhindrar att ny beläggning fastnar.

Infrasotning, där icke-hörbart ljud används är betydligt mera effektivt. Ljudpulserna har en frekvens mellan 15 till 30 Hz. Frekvensen ställs in så den sammanfaller med pannväggens egenfrekvens, detta för att stående ljudvågor skall bildas. Metoden är inte lämplig där panndelen har samma egenfrekvens som panntuberna då detta kan leda till att tubpaketet skakar sönder, i dessa fall bör tubpaketets egenfrekvens förändras. Detta kan göras genom att montera skärmar på tuberna. Infrasonotning kräver betydligt större installationer än sotning med hörbart ljud.

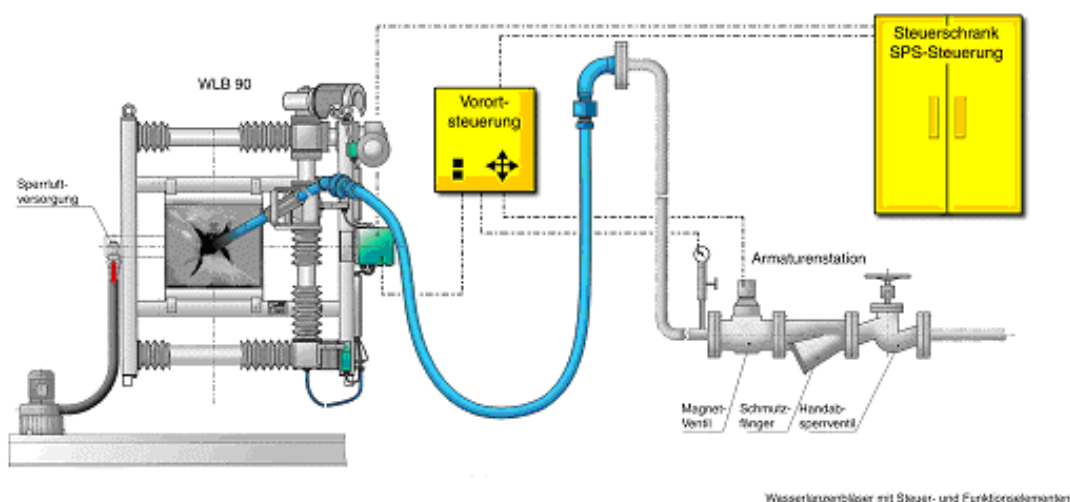


Figur 11. Sotare med hörbart ljud. (www.power-technology.com)

Figur 12. Sotare med infraljud. (www.infracone.se)

4.2.2 Vattensotning

Vid väldigt hårt vidhäftade beläggningar kan vattensotning användas. Metoden är mycket effektiv, men bör användas under kontrollerade former för att inte orsaka skada. Sotningsmetoden ger upphov till en mycket hög anslagskraft och utsätter tuberna för en termisk chock, vilket kan leda till sprickbildning med tubläckage som följd. Vid vattensotning sprutas vatten direkt mot tuberna, vattnet tränger in, förångas och spränger bort beläggningen. Metodens effektivitet gör den lämplig på heta ställen där redan lite beläggning leder till en drastisk minskning av värmeöverföringsförmågan. (Eklund A., 2004)



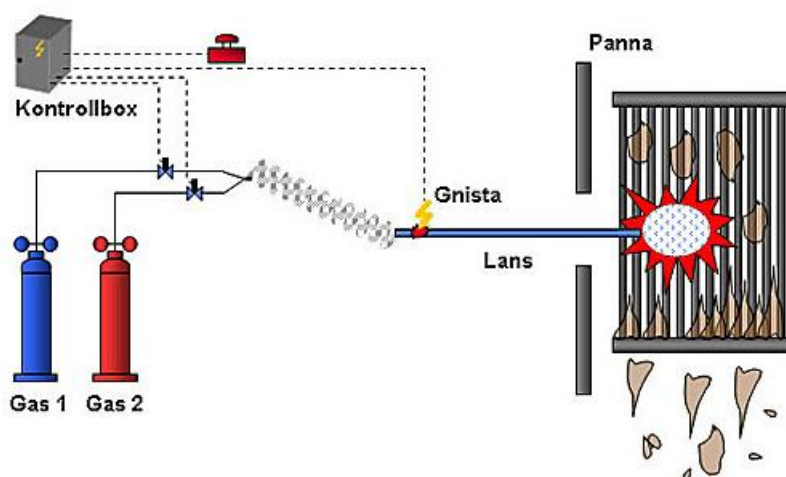
Figur 13. Principskiss av ett system för vattensotning. (Eklund A., 2004)

4.2.3 Luftsotning

Luftsotningens funktion är i stort sett likadant som ångsotning, men på grund av lägre massaflöde är anslagskraften ca 1,3 gånger lägre, vilket gör att metoden inte är lika effektiv. Metoden är dessutom dyrare än ångsotning, därför är den mindre vanlig. Fördelarna med luftsotning är att dränering inte behövs, metoden kräver mindre underhåll samt att ingen ånga förbrukas. Det är ännu oklart om denna sotningsmetod överhuvudtaget kan vara kostnadseffektiv. (Eklund A., 2004)

4.2.4 Sprängsotning

Sprängsotning är en relativt ny metod som både kan användas under drift och vid stagnation. Sotningsmetoden kan utföras med en fast monterad spränggenerator eller genom att ett företag på begäran kommer och utför sprängsotningen. Genom att skapa små explosioner knäcks avlagringarna sönder och lossnar från rören. Sprängsotning är en väldigt effektiv rengöringsmetod så den fungerar på alla typer av beläggningar, den klarar även av riktigt hårda beläggningar. En nackdel vid sprängsotning är att metoden är så effektiv att igenstockningar orsakas på grund av att asktransportörernas kapacitet inte räcker till. (Ab Sprängsotning)



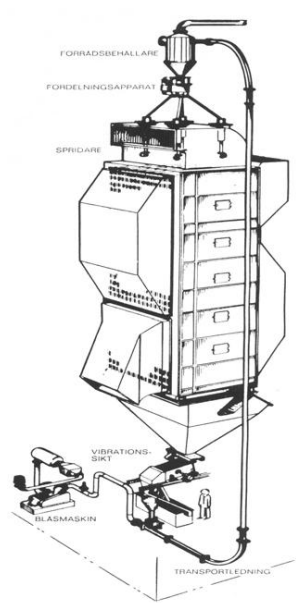
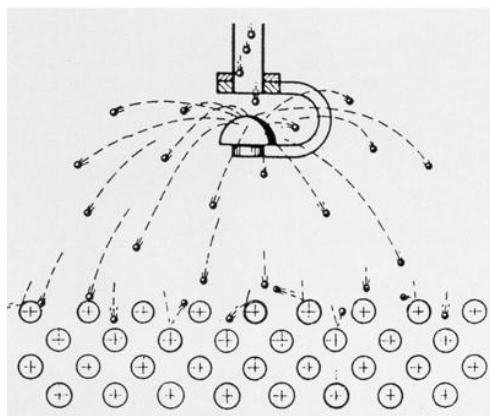
Figur 14. Schemabild från AB Sprängsotnings Bang & Clean metod. (www.sprangsotning.se)



Figur 15. Jämförelse före och efter sprängsotning. (www.sprangsotning.se)

4.2.5 Kulsotning

Vid kulsotning släpps renskolor eller stålklipps via en spridare genom tubpaketen. Kulorna slås mot tuberna varvid avlagringarna slås sönder och följer med. Kulorna samlas på botten och förs tillbaka till ovansidan för att sedan utföra nästa sotning. Kulornas material varierar beroende på rökgastemperatur och avlagringskarakteristika. Metoden används främst vid rökgastemperaturer under 550 °C eftersom tubmaterialet blir för känsligt för kulornas stötar vid högre temperaturer. (Eklund A., 2004)



Figur 16. Bilden visar hur sotningskulorna via en spridare sprids ut över tuberna.

Figur 17. Schemabild av ett kulsotningssystem. (Eklund A., 2004)

4.3 Minskning av sotblåsningsbehov

Genom att minska behovet av sotblåsning kan man bibehålla en högre verkningsgrad samtidigt som man minskar slitaget på tuberna, samt gör inbesparingar i drifts- och underhållskostnader för sotblåsningsutrustningen. En minskning av panntubernas partikelansamlingar kan åstadkommas på i huvudsak två sätt.

Genom att ha speciella tubmaterial kan man förebygga att beläggning fastnar på tuberna. Nickel har visat sig vara ett material som får väldigt låg avlagringspåväxt, men eftersom det är så känsligt för sotblåsning lämpar det sig endast för ställen där man inte sotblåser.

Det andra sättet är att genom tillsättning av additiv i själva förbränningsprocessen åstadkomma en förändring av avlagringskaraktistikan. Svavel minskar högttemperaturkorrosion och hämmar beläggningsansamlingen, därför kan det tillsättas som additiv. Vid tillsättning av ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) bildas sulfater i stället för klorider i avlagringarna vilket gör avlagringarna mindre korrosiva. Sulfater är dessutom lättare att avlägsna eftersom avlagringarna blir porösare. Flera forskningsprojekt har visat att avlagringarnas tillväxthastighet minskar drastiskt då ammoniumsulfat har tillsatts. En annan fördel är att ammoniumsulfat sänker NO_x och CO. (Hjörnhede A., 2006)



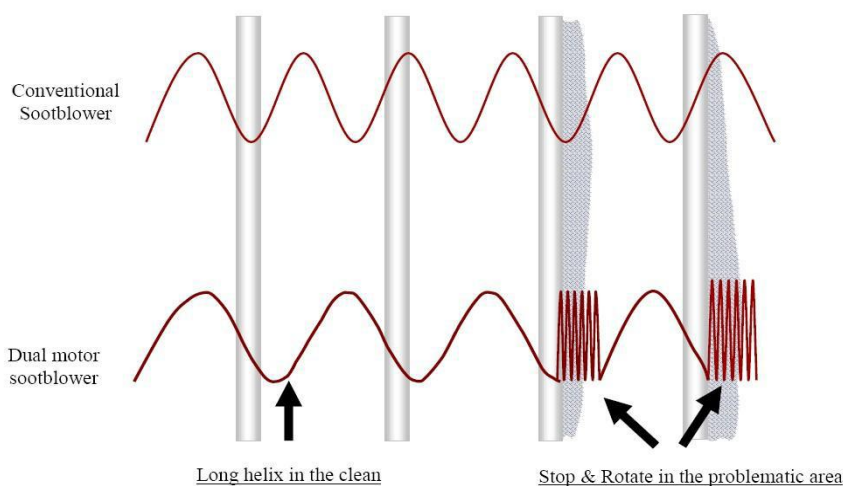
Figur 18. Testringar från Idbäcksverket i Nyköping. Exponeringstiden var 12 h och materialtemperaturen 500 °C. Tillväxthastigheten på avlagringarna sjönk från 21 till 6 g/m²/h. Ammoniumsulfatet sänker även NO_x -halten i rökgaserna. I rapporten framgick inte mängden inmatat ammoniumsulfat.

4.4 Behovsstyrd sotblåsning

Vid konventionell sotblåsning är sotblåsarna i tur och ordning i drift, enligt en sekvens. Sotblåsningen påbörjas på det hetaste stället i överhettaren och sker sedan stegvis i rökgasens riktning. Vid behovsstyrd sotblåsning är en sotblåsare i drift endast då det är nödvändigt ur beläggningssynpunkt. Det forskas en hel del kring behovsstyrd sotblåsning och utvecklingen har gått framåt. Man mäter flöden, temperaturer, tryckfall och behandlar sedan mätdata med hjälp av en mjukvara, framtagen specifikt för den aktuella pannan. Mjukvaran avgör sedan var det behöver sotas. Ett annat alternativ är att skapa en matematisk, termodynamisk modell av pannan. Med hjälp av information om bränsle, aska samt övriga mätdata från anläggningen kan modellen förutspå var det behöver sotas. Databehandlingen är avancerad eftersom pannas drifttillstånd och variationer i bränslekvalitet måste tas i beaktande. Flera företag har utvecklat mjukvaror för detta.

Metsos intelligenta system BLRBOTM bestämmer var i pannan beläggningarna har uppkommit. Detta förverkligas genom att kontinuerligt mäta flöden, tryckfall, temperaturer och sedan behandla informationen. Sotblåsningen koncentreras sedan till de problemfyllda områdena. (Svedin K., 2009)

Clyde-Bergemann har tagit fram en sotningsapparat som de kallar Smart Sootblower. Sotblåsaren är utrustad med dubbla motorer, vilket gör rotationen och rörelsen i längdriktningen oberoende av varandra. Tillsammans med en mjukvara som bestämmer var sotning är nödvändig kan denna sotapparat koncentrera sotningen ännu noggrannare. (Clyde-Bergemann, 2005)

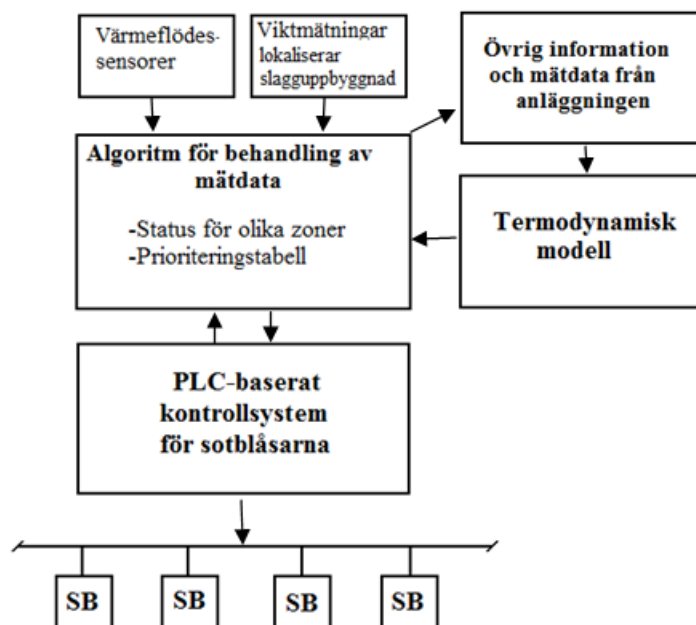


Figur 19. Smart Sootblowers rörelsemönster.

Diamond Power har utvecklat flera system för intelligent sotblåsning. FCM (Furnace Cleanliness Module) är ett system som levereras med aderton stycken värmeflödessensorer. Mätdata från sensorerna behandlas varvid värmeöverföringen i pannans olika delar kan beräknas. På detta sätt kan sotningen ske där det är nödvändigt. (Diamond Power Oy, 2006)

En enklare form av intelligent sotning baserar sig på kunskapen om att största delen av sotningen sker då lansen rör sig in i pannan. Genom att sota i endast en rörelseriktning kan ångförbrukningen hållas stabil trots att sotningsfrekvensen höjs, man effektiviserar således användningen av sotblåsningsångan. SootTech är ett svenskt företag som har patenterat en teknik där ångtrycket stängs av vid lansens tillbakagång. Diamond Power har en liknande lösning, One way cleaning, som baserar sig på samma principer. Ångtrycket är reducerat då lansen rör sig in i pannan, på tillbakavägen är trycket normalt. En annan fördel med detta är att kondensat från det yttre ångnätet inte gör lika mycket skada.

Fördelarna med intelligent sotblåsning är att användningen av sotblåsningsånga kan minskas samtidigt som ångan används effektivare. Slitaget på panntuberna och sotblåsningsutrustningen minskar samtidigt som pannan hålls renare. (Svedin K., 2009)



Figur 20. Principschema för hur ett system för intelligent sotblåsning kan se ut.

4.5 Allmän beskrivning av sotblåsningssystemet

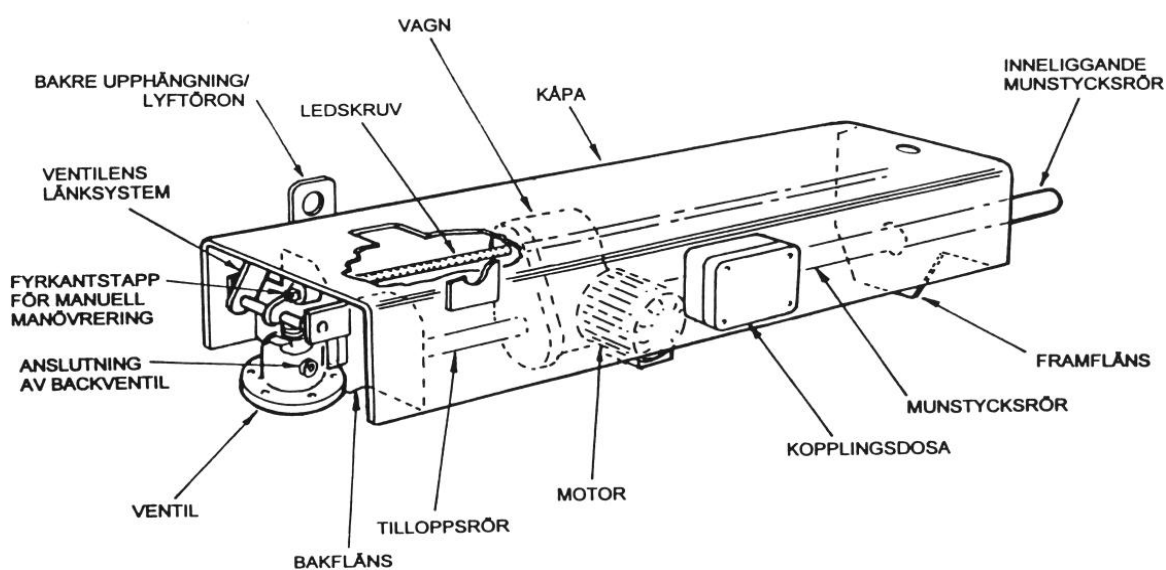
Ånga för sotblåsningssystemet tas efter den kalla mellanöverhettaren och leds genom tryckreduceringsventilen till sotblåsarna, ångflödet är ca 2 kg/s. Med reduceringsventilen sänks ångtrycket så att det blir lämpligt för sotblåsarna, från ca 36 bar till ca 20 bar. Efter sotblåsningsventilen, flödesmätningen och tryckreduceringen indelas huvudlinjen i tre separata sotblåsningslinjer, andra draget, tredje draget och rökgasluvon.

Sotblåsningsautomatiken, som förverkligas i automationssystemet, styr sotblåsningen så att sotblåsningslinjerna först värms genom dränering. Detta skall förhindra att kondens förs med vid sotblåsningens början, samt undvika en alltför snabb temperaturstegring i rörsystemet. Det finns en dräneringslinje per sotblåsningslinje, dräneringslinjerna förs till utblåsningscisternens samlingsstock. Dräneringsventilen styrs av temperaturmätningar längst ner på linjen. När temperaturen i linjen är tillräckligt hög påbörjas den egentliga sotblåsningen. Sotblåsningen framskrider stegvis så att en sotblåsare i sotblåsningsgruppen används åt gången.

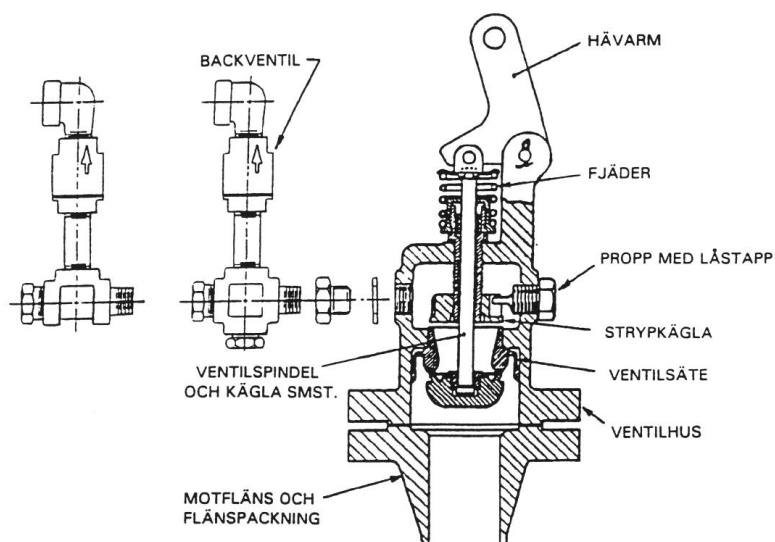
Sotblåsning av värmeytorna i ett tubpaket påbörjas när rörelsesekvensen startats och sotblåsarens ångventil öppnats. Genom munstycken i sotblåsaren strömmar ånga med hög hastighet mot ytan av tubpaketet och lösgör beläggningar som anhopats på dessa. Sotblåsaren rör sig samtidigt så att hela värmeytan inom sotblåsarens område blir renad. När sotblåsning med en enskild sotblåsare har utförts tas följande sotblåsare i drift. När hela sotblåsningssekvensen har utförts, dvs. alla sotblåsare i sotblåsningsgruppen har körts, avstängs sotblåsningsventilen och pannans ångbalans blir återställd.

4.6 Diamond Powers IK1M sotblåsare, funktionsbeskrivning

Tillverkaren för sotblåsarna som rör detta examensarbete är Diamond Power. Sotblåsarna är roterande slagsotblåsare med flera dysor och har en total rörelse på 960 mm inne i pannan. Sotblåsaren har en åkvagn, som drivs av en på vagnen monterad motor, vilken via en reduktionsväxel och en ledskruv driver vagnen längs ett gejdrör. Ett munstycksrör, som är fäst vid vagnen, förskjuter ett inneliggande munstycksrör inne i pannan. Motorn är en helkapslad 0,55 kW 4-polig elmotor som är flänsmonterad på vagnhuset.

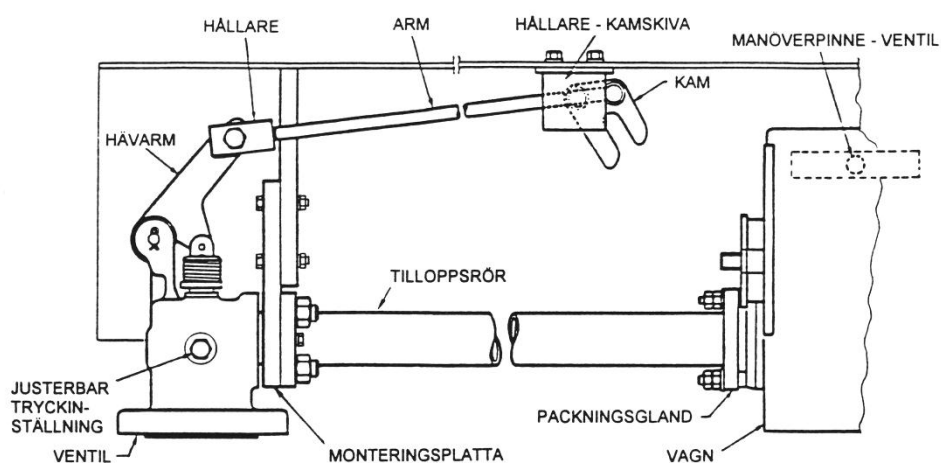


Figur 21. Översiktsvy av Diamond Powers sotblåsare IK-1M/IK0,5M (Kvaerner Power, Drift- och underhållsinstruktioner, Sotblåsare 6/20)



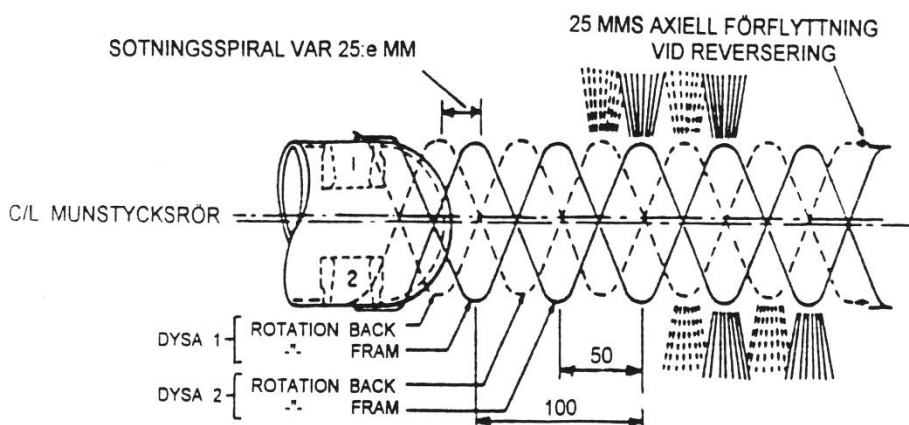
Figur 22. Skiss över sotblåsarens tallriksventil. (Kvaerner Power, Drift- och underhållsinstruktioner, Sotblåsare 6/20)

Blåsningsmediet, som kontrolleras av en mekaniskt manövrerad ventil, matas till munstycksrörets dysor via tilloppsröret. Då sotblåsaren startar rör sig lansen inåt i pannan.



Figur 23. Bild av ventilmekanismens funktionsprincip. (Kvaerner Power, Drift- och underhållsinstruktioner, Sotblåsare 6/20)

Efter en viss rörelse inåt skjuts en hävarm bakåt av en på åkvagnen placerad manöverpinne. Hävarmen påverkar en kamaxel, en kam trycks neråt och en tallriksventil öppnas. Då ventilen öppnas flödar ånga till det i sotblåsaren inneliggande munstycksröret. När sotblåsaren nått sitt ändläge påverkas en gränslägesbrytare och motorn reverseras. Sotblåsaren rör sig bakåt, i slutet av rörelsen påverkas ventilmekanismen av manöverpinnen så att popventilen stängs. Till sist påverkas en gränslägesbrytare som ger signal om att sotblåsaren är klar, sotblåsaren återställs och nästa sotblåsa kan starta. Vid ventilen finns en backventil, p.g.a. det i överhettaren rådande undertrycket sugas friskluft in genom denna och passerar genom lansens. Detta förhindrar att korrosiva rökgaser sugas in i lansens då sotningsmediet kondenserar. (Fält Kari, 2001)



Figur 24. Sotblåsarens rörelsemönster. (Kvaerner Power, Drift- och underhållsinstruktioner, Sotblåsare 6/20)



Figur 25. Dysrör. Figur 26. Bild av sotblåsarens yttre konstruktion.

- **Teknisk data**

Munstycken: 10 st per dysrör, \varnothing 15,9 mm

Rökgastemp: 785 °C

Ångflöde: 2 kg/s 13 bar

Sotblåsningstid: 188 s (178 s med ånga)

Material: Sandvik 252 MA

Motor: 0,55 kW 690 V 50 Hz

- **Sotblåsningssekvens**

Genom att observera mätningar av tryckdifferens och temperatur i rökgasen över tubpaket samt mätningar på vatten/ångsidan får man besked om när värmeytorna har blivit smutsiga. Sotningen styrs från kontrollrummet, operatören kan sedan välja olika sotningsrecept samt var sotningen skall ske. Då sotningssekvensen startar påbörjas först avvattningen. När temperaturen har stigit till över 290 °C nere vid stamrörets avvattningsventil påbörjas sotblåsningen. Om temperaturen sjunker under 260 °C under sotblåsningen avbryts sekvensen och avvattningsventilen öppnas tills rörtemperaturen har återuppnåtts. Sekvensen återupptas sedan där den avbrutits. Sotningen börjar vid sotblåsare 1, högst

uppe vid andra draget i tertiäröverhettaren. Sotblåsningen sker i rökgasens riktning. Operatören kan välja att köra endast en specifik sotblåsningsgrupp.

4.7 Vad kostar en sotblåsning?

I detta kapitel kommer kostnaden av sotblåsningen att behandlas. Tyngdpunkten ligger på beräkningar av ångförbrukningen, samt värdet av denna. För att kunna beräkna hur mycket ångan för en sotblåsningssekvens kostar bör man ta reda på hur mycket eleffekt man kunde ha producerat med sotblåsningsångan.

Genom att känna till förändringar i ångans massaflöde och entalpi samt verkningsgraden i turbinens olika delar kan ångans arbete i de olika stegen beräknas. Sotblåsningsångans entalpi ligger närmast entalpin i ångan från mellanavtappning 6, sotblåsningsångans entalpi är endast 40 kJ/kg lägre. Ångflödet vid sotblåsning är ca 2 kg/s, genom att i beräkningarna ta ut 2 kg/s mera ur mellanavtappning 6 kan teoretisk effektnedsättningen vid sotblåsning klargöras.

Värdena på ångans tryck och temperatur kommer från mätningarna efter mellanöverhettare 1. Ångförbrukningen är ett medelvärde av den totala mängden ånga per dag och per sekvens. Mätdata kommer från flödesmätningen före tryckreduktionen.

- **Kostnader för beredning av tillskottsvatten**

Tillskottsvattnet som åtgår för att producera ångan bidrar också till en kostnad. Tillskottsvattnet köps av UPM Kymmene, under 2010 var priset 0,42 € /m³. För att vattenkvaliteten skall lämpa sig som matarvatten krävs en ytterligare rening i AK:s egna reningsanläggning, samt dosering av ammoniak och fosfat. Priset uppskattas därför till 0,45 € / m³.

• Ångförbrukning

Ångförbrukningen varierar under året. Efter stagnation är förbrukningen av sotningsånga lägst, förbrukningen stiger sedan med tiden. Genom att reducera ångförbrukningen kunde inbesparingar göras.

4.7.1 Beräkningar

Enligt beräkningar i bilaga 5 motsvarar sotblåsning ett effektbortfall på 1,982 MW. I följande beräkningar har ett elpris på 50 €/MWh antagits.

$$P_{el} = ((\dot{m}_{in} * i_{in} - \dot{m}_{ut} * i_{ut}) * \eta_{turb} * \eta_{gen}) / 1000$$

P = Eleffekt i MW

\dot{m} = Sotblåsningens ångans massaflöde i kg/s

i = Ångans entalpi i kJ/kg

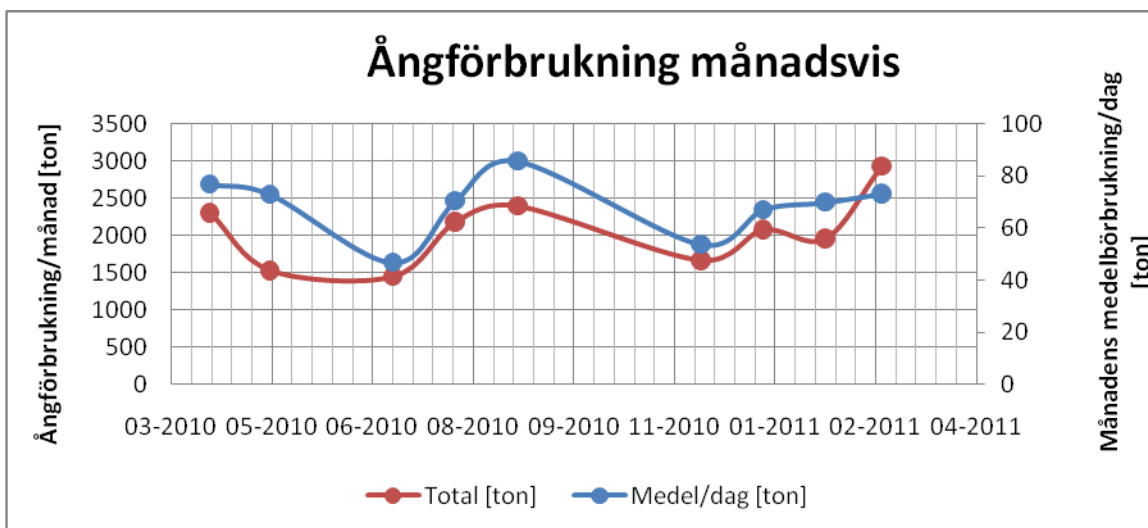
η_{turb} = Turbinens verkningsgrad

η_{gen} = Generatorns verkningsgrad

Sotångförbrukning		Motsvarande tid	Motsvarande elenergi [MWh]
Flöde	2 kg/s	-	-
Förbrukning/sekvens	25 ton	3,47 h	6,81
Förbrukning/dag	68 ton	9,44 h	18,53
Förbrukning/månad	1810,64 ton	251,48 h	493,43
Förbrukning/år	21760 ton	3022,22 h	5930,02

Värde i €	Ånga	Tillskottsvatten	Totalt
Ton	6,94 €	0,45 €	7,39 €
Sekvens	340,65 €	11,25 €	351,90 €
Dag	926,57 €	30,60 €	957,17 €
Månad	24 671,71 €	814,79 €	25 486,49 €
År	296 500,86 €	9 792,00 €	306 292,86 €

I bilaga 5 och 6 finns en fullständig redogörelse för de olika beräkningsskedena.



Figur 27, Trend över ångförbrukningen.

4.7.2 Slutsatser

Sotblåsning är en mycket kostsam åtgärd. Endast den förbrukade ångan ger upphov till en årlig kostnad på ca 300 000 €, då har inte elförbrukning eller kostnader för själva utrustningen beaktats. En inbesparing på 10 ton ånga per dag skulle ge en årlig inbesparing på ca 45 000 €. Att spara in 10 ton per dag skulle ungefär innebära en 15 % minskning av ångförbrukningen.

5 Utredning

Sotblåsarnas dysrör går gång på gång av och deformerar. Detta antogs i början bero på att allt kondensat inte dräneras ur systemet utan skapar kraftiga vattenstötar inne i dysröret. I detta examensarbete har det utretts varför kondensatet blir kvar samt vad som skulle vara den enklaste lösningen på problemet. Rörsystemet har granskats med avseende på konstruktionsfel och det har utretts om dräneringen är tillräckligt. Okulär kontroll av konstruktionen, lutningsmätningar samt temperaturmätningar har utförts. När det under utredningen framkom att kondensat inte kan orsaka att dysrören deformerar undersöktes temperatursituationen i överhettaren samt dysrörens stödkonstruktion.

5.1 Rörkonstruktion

Efter en diskussion med konstruktör Harry Still fick jag många tips och tumregler gällande sotblåsningssystemets rörkonstruktion.

- ”Fyra och fyra” d.v.s. rören i sotblåsningssystemet bör inte ha en längd som överskrider 4 meter och lutningen bör vara minst 4° .
- Alla uttag från stamröret bör vara på ovansidan.
- Upphängningen får aldrig vara fixerad, rörsystemet bör följa med pannans expansion.
- Om möjligt bör det endast finnas en krök på ångröret mellan sotblåsaren och stamröret.

Efter en inspektion av rörsystemet kunde flera brister i konstruktionen konstateras. Lutningsmätningar visar att lutningen på rören på flera ställen är otillräcklig, uttagen från stamröret är inkorrekta samt antalet krökar mellan ventil och stamrör är kritiskt många. Genom att studera packboxarna under sotningens början kan man se att en hel del kondensat finns med.

5.2 Rörens lutning

Eftersom det fanns misstankar om att problem orsakats av kondens som lämnat kvar i rören gjordes mätningar av ångrörens lutning i ett tidigt skede. Enligt leverantören var minimikravet på lutningen 1:25, d.v.s. 2,3°. YIT har planerat rören, enligt deras ritningar borde alla rör ha lutningen 2,5°. Lansarna borde luta från pannan för att kompensera nedböjningen inne i pannan.

Vid mätningarna framkom felaktigheter i rörkonstruktionen på flera ställen.

Sotblåsare nr	Mät punkt			Lans
	1	2	3	
5 (vänster)	2,7°	3,4°	0,9°	0,0°
6 (vänster)	3,5°	2,7°	-	0,7°
7 (höger)	1,7°	2,3°	0,1°	0,4°
8 (höger)	3,0°	2,7°	-	0,5°

Datum:	14.1.2011
Mätare:	Würth Distance Meter WDM 101
Mätavvikelse:	±0,3°
Drifttemperatur:	Max +50 °C

Yttre faktorer som kan ha inverkat på mätresultatet:

- hög temperatur
- vibrationer
- svårigheter att komma åt vid lansmätningarna.

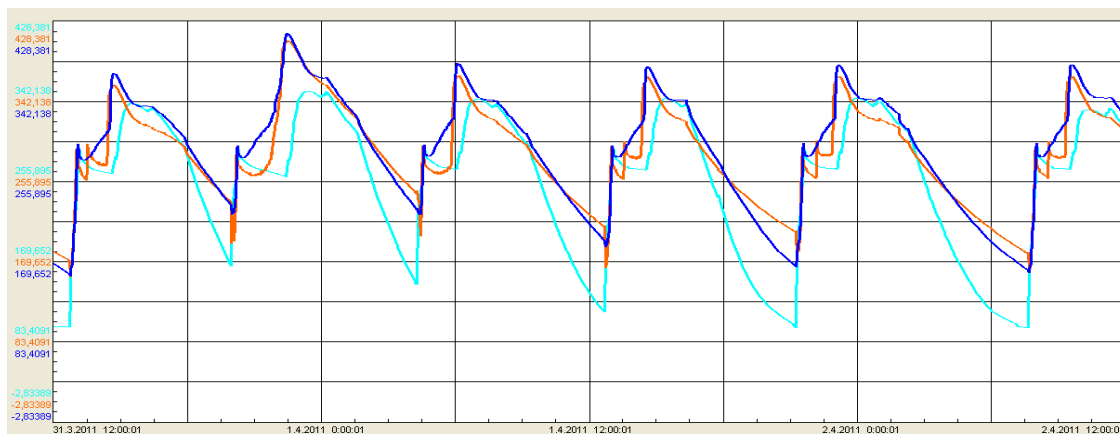
5.3 Temperaturhöjning under dräneringssekvensen

Innan sotblåsningen påbörjas måste ångnätet värmas upp och dräneras på kondensat. Som tidigare nämnts kommer sotningssekvensen att avbrytas och ytterligare dränering ske om temperaturen blir för låg. Avvattningen sker vid stamrörets lägsta punkt, avvattningsventiler finns vid luvon, vid tredje draget samt skilda för andra dragets högra och vänstra vägg. Vid varje avvattningsventil finns en strypt förbigång för kontinuerlig avvattning.

I ett tidigt skede studerades temperaturrenderna från mätningarna vid avvattningsventilerna, det kunde konstateras att temperaturen var väldigt instabil. Temperaturen sjönk under sotningssekvensen, sotningen måste således avbrytas för avvattning. Genom att borra upp strypbrickorna blev den kontinuerliga avvattningen kraftigare och temperaturen hålls nu stabilare.



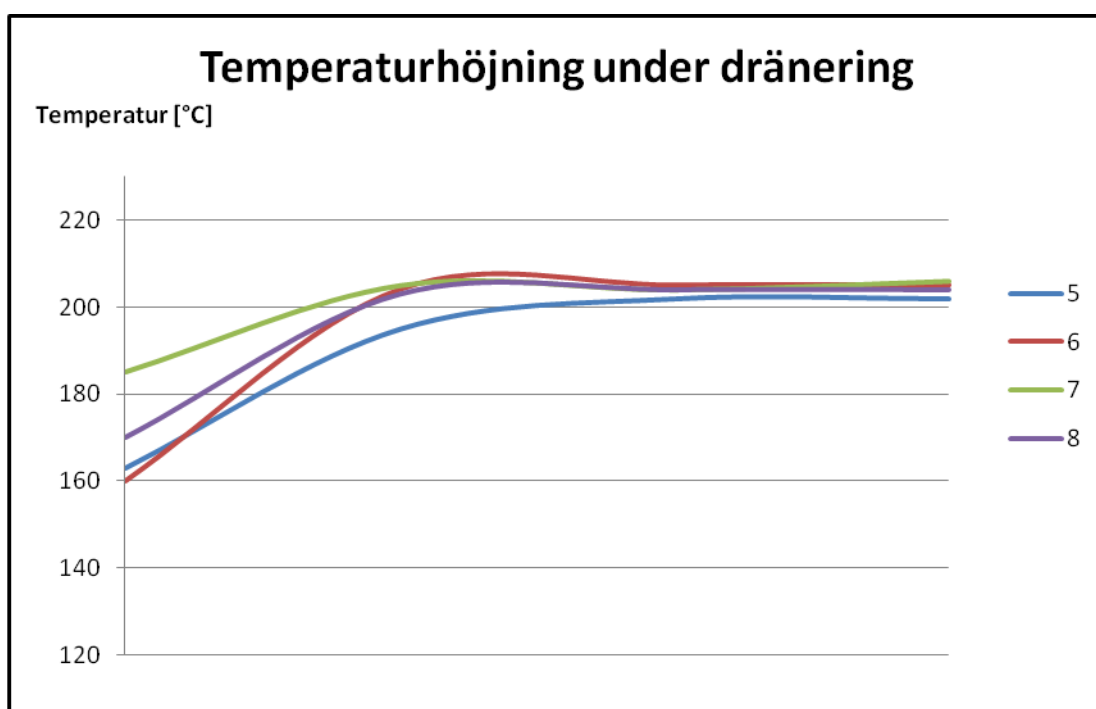
Figur 28. Temperaturrend före åtgärd.



Figur 29. Temperaturrend efter åtgärd.

- Vid avvattningen av andra dragets högra vägg (mörkblå på trenden) ändrades strypbrickans hål från 5 mm till 7 mm.
- Vänstra väggen lämnades orörd (orange på trenden)
- Strypbrickan vid tredje dragets avvattning (turkos på trenden) ändrades från 5 mm till 7 mm.

För att försäkra att temperaturen i rörledningarna steg tillräckligt under dräneringssekvensen utfördes temperaturmätningar vid tallriksventilerna. Det kunde konstateras att temperaturhöjningen var tillräcklig, samt att ventilerna inte läckte igenom.



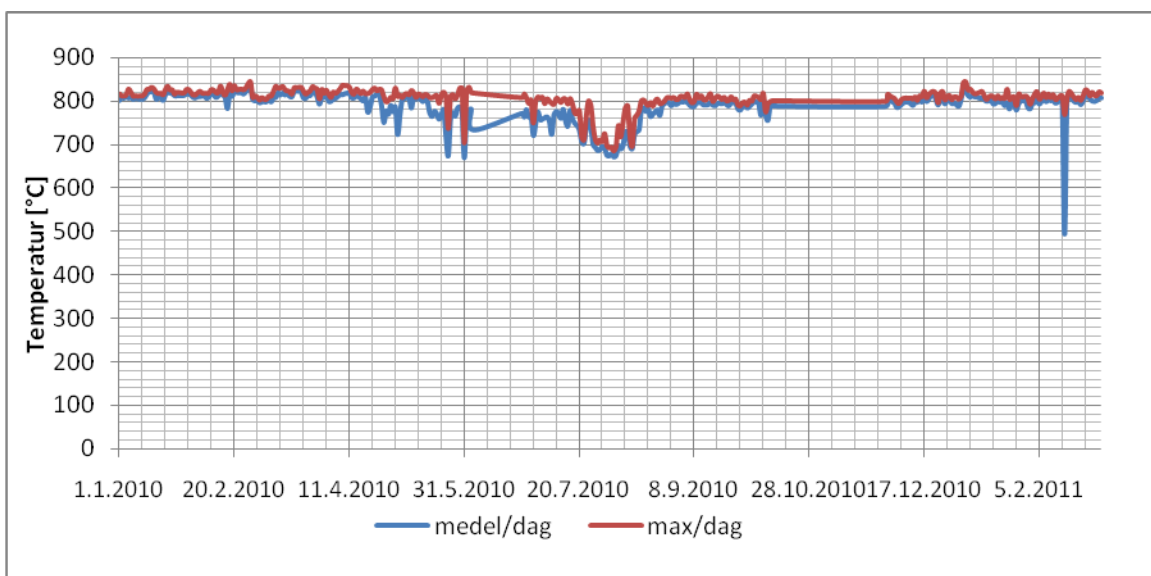
Figur 30. Graf över temperaturökningen under dräneringssekvensen, sotblåsare 5-8.

5.4 Kontakt med leverantören

Under utredningen kontaktades leverantören av sotblåsningsutrustningen, Diamond Power. Kontaktpersonen var Mika Haikola, VD för verksamheten i Skandinavien. Enligt Haikola kan inte vattenstötter vara orsaken till att dysrören har gått av, han menade att för hög rökgastemperatur i tertiäröverhettaren var en troligare orsak till problemet. Haikola var dock väldigt förvånad över att höra om problemet eftersom han inte kände till liknande problem hos andra kunder. Materialet Avesta 253 MA är det mest temperaturtåliga av Diamond Powers dysrör och materialet borde klara av de rådande temperaturerna i tertiäröverhettaren.

5.5 Utredning av temperaturen i tertiäröverhettare

För att utreda om rökgastemperaturen i tertiäröverhettaren är för hög för dysrören gjordes medel- och maxtemperaturberäkningar. Temperaturmätningar finns endast efter cyklonerna samt efter tertiäröverhettaren. För att få en bild av temperaturen efter tertiäröverhettarens andra paket beräknades medeltemperaturen före och efter tertiäröverhettaren. Temperaturförändringen genom tertiäröverhettaren antogs vara linjär. Temperaturen efter tertiäröverhettare två skall enligt leverantörens uppgifter vara ca 785 °C. Enligt beräkningarna skulle den verkliga medeltemperaturen ligga strax över 800 °C, periodvis nås temperaturer över 850 °C.



Figur 6, Graf över den beräknade temperaturen efter tertiäröverhettarepaket två. Max/dag är det dagsvis högsta värdet av en timmes medelvärden.

Trenden skickades till Mika Haikola på Diamond Power, han kunde själv inte säga något utgående från detta men trenden vidarebefordrades till den tekniska avdelningen i Skottland för vidare utredning. Enligt uppgifter från den tekniska avdelningen är inte den höga temperaturen i sig ett problem, trots att den överskrider dimensionstemperaturen något. En högre rökgastemperatur ställer däremot större krav på dysrörens stöd inne i pannan.

5.6 Dysrörens stödkonstruktion

När stödkonstruktionens betydelse vid höga temperaturer hade framkommit gjordes en översikt av stöden. Det största tillåtna avståndet är enligt Diamond Power fyra meter mellan stöden vid en rökgastemperatur på 800°C. Dessa riktlinjer gäller för dysrör av materialet 304SS, materialet 253MA är starkare.

Enligt ritningen skall det finnas tre stycken stöd per dysrör, avståndet mellan det bakre stödet och väggen är ca 2690 mm, avståndet mellan stöden är 2743,2 mm och 107 mm från det sista stödet till ändan av lansen. Detta ger en ungefärlig längd på 3,1 m mellan de främre stödrullarna och det bakre stödet inne i pannan. Avstånden mellan stöden ligger inte nära gränsvärdet och borde således inte vara för stora.

Till följd av tubläckage i en cyklon kördes anläggningen ner, detta gjorde det möjligt att gå in i överhettaren och mäta avståndet mellan stöden.

Måtten från ritningen jämfördes med de verkliga måtten mellan stöden. Under senaste stagnation hade antalet stöd utökats vid sotblåsare 7 och 8, det finns nu fem stöd per dysrör vid dessa. Vid sotblåsare 5 och 6 finns det tre stöd per dysrör.

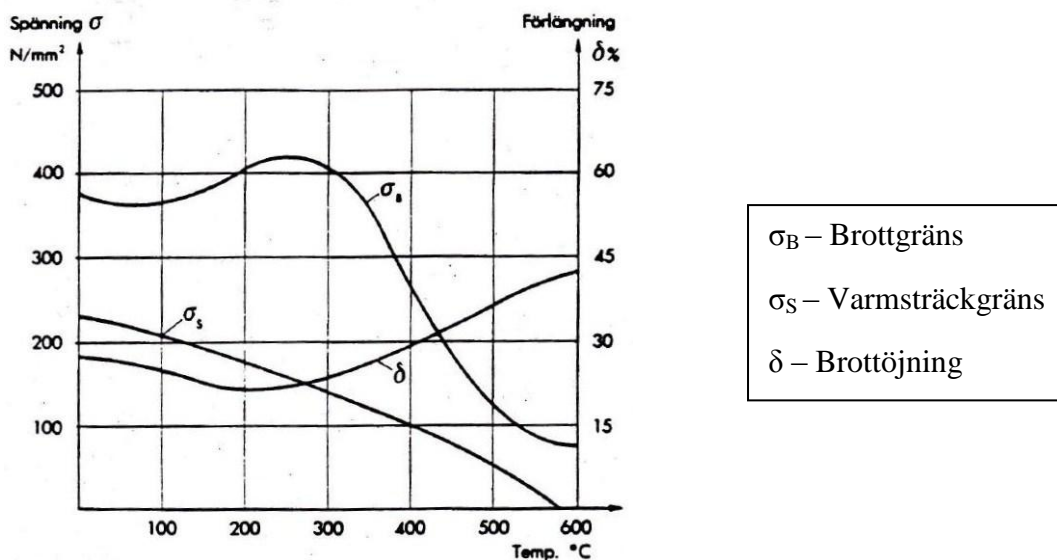
Avstånd mellan lansstöd, sotblåsare 5 och 6	
Väggbox-stöd1	3100 mm
Stöd1-stöd2	2750 mm
Stöd2-stöd3	1830 mm
Stöd3-lansändan	650 mm

Avstånd mellan lansstöd, sotblåsare 7 och 8	
Väggbox-stöd1	1550 mm
Stöd1-stöd2	1550 mm
Stöd2-stöd3	1450 mm
Stöd3-stöd4	1450 mm
Stöd4-stöd5	2000 mm
Stöd5-lansändan	400 mm

Ur tabellerna på föregående sida framgår det att de verkliga måtten inte överensstämmer med de i ritningen angivna måtten. Även där stödantalet har utökats överskrids måttet mellan det sista stödet och lansändan.

• Stödets betydelse

Avståndet mellan stöden är avgörande för hur stor belastningen på dysröret kommer att vara. Ju högre temperaturen är, desto mindre belastning klarar materialet av. Detta beror på materialkrypning. Enligt Diamond Powers tekniska avdelning orsakas deformationer och brott på dysrören praktiskt taget uteslutande av krypning. Krypning är en tidsberoende töjning som beror på belastningen och temperaturen. Vid höga temperaturer ökar risken för krypning avsevärt. Detta är en plastisk deformation som erhålls redan långt under materialets sträckgräns. En plastisk deformation innebär permanenta förändringar i materialet med påföljden att materialet inte kommer att böjas tillbaka till sitt ursprungsläge.



Figur 7, Kolstålets hållfasthetsegenskaper som funktion av temperaturen. (Gustafsson, s. 23)

Genom att betrakta brottgränskurvan σ_B får man en uppfattning om hur stor betydelse temperaturen har för brottgränsen.

Med den verkliga, ursprungliga placeringen av stöden är måttet mellan det sista stödet och lansändan ca 650 mm, när sotblåsaren är i sitt ändläge är avståndet 1610 mm. Detta innebär en väldigt stor belastning på dysrören.



Figur 33. Bild på ett skadat stöd, sotblåsare 6. Figur 34. Bild på ett helt stöd, sotblåsare 7.

6 Resultat

Genom utredningar som gjorts under detta projekt har det framkommit i huvudsak två skilda problem med sotblåsningssystemet, kondensatrelaterade problem samt problem med dysrören.

- **Kondensatproblem**

Redan från början fanns det misstankar om att kondensat skadade dysrören. Efter en granskning av sotblåsarnas ångsystem kunde det konstateras flera brister i rörkonstruktionen. De bristfälliga rörlutningarna och den i övrigt undermåliga konstruktionen av rörsystemet antas leda till att allt kondensat inte dräneras under avvattningssekvensen.

Kvarblivet kondensat leder inte till att dysrören går av eller deformeras, däremot kan munstycken tryckas ut av de kraftiga vattenstöterna. Kondensat kan även leda till en påtaglig materialavverkning på panntuberna, eftersom den stora anslagskraften i samverkan med ångans fuktighet kan orsaka korrosionserosion.

Bristerna i ångsystemet förekommer mellan stamröret och sotblåsarna. Det skulle krävas en omplanering och omkonstruktion av ångrören vid så gott som alla sotblåsare för att åtgärda detta, därför har en mindre omfattande åtgärd utformats. Genom installation av en frekvensomvandlare kontrolleras sotblåsaren så att den sakta rör sig framåt för att sedan stanna upp då ångventilen är halvöppen. I och med detta skall kondensatet avlägsnas vid ett mindre flöde, varvid det inte vållar lika stora skador.

Frekvensomvandlaren har installerats vid sotblåsare 7, eftersom rörlutningarna var som mest kritiska vid denna sotblåsare. Resultatet av åtgärden ses först längre fram i tiden, när man kan avgöra om problem kopplat till kondensat har minskat. Det finns även planer på att i undersökningssyfte anordna en avtappning vid ångröret före tidigare nämnda sotblåsare. Genom denna åtgärd skulle man få en inblick i kondensatansamlingens omfattning.

- **Problem med deformation av dysrör**

Problemen med dysrören, vilket var det största problemet, orsakas högst sannolikt av den felaktiga placeringen av dysrörens stöd. Detta framkom efter mätningar i tertiäröverhettaren, då avstånden mellan stöden uppmättes. Stöden är inte placerade enligt ritningen, vilket har lett till en för hög belastning av dysrören. Den förhöjda belastningen har tillsammans med den höga temperaturen lett till materialkrypning. En lämplig placering av stöden undviker att belastningen blir för hög, flera stöd minskar belastningen ytterligare. Detta är en billig och enkel åtgärd som förhindrar att dysrören deformeras. Under inkommande stagnation kommer stöden att åtgärdas så att placeringen blir lämplig för de vid dysrören rådande temperaturerna.

6.1 Förslag till fortsatt forskning

Sotblåsning är en kostsam åtgärd, därför kan det finnas skäl att utreda möjligheter till inbesparingar. Under arbetets gång har jag stött på flera intressanta åtgärder för att minska på sotningsbehovet samt förbrukningen av sotblåsningsånga.

- **Rengöring av värmeytor mellan driftstopp**

Genom sprängsotning kan man erhålla en effektiv rengöring medan pannan är i drift. Det skulle vara intressant att utreda om en rengöring av överhettaren mellan driftstopp vore lönsam. Genom att hålla nere förbrukningen av sotblåsningsånga på den nivå den är någon månad efter en stagnation skulle stora inbesparingar kunna göras. Med en renare panna skulle dessutom verkningsgraden hållas högre. Asktransportörernas kapacitet bör beaktas så att inte rengöringen orsakar igensättningar.

- **Minskning av avlagringsuppsyggnad genom additiv i förbränningsprocessen**

Utredning om ammoniumsulfat kunde användas som additiv. Kostnadsundersökning samt analysering av inverkan vid olika bränsleblandningar.

- **Minskning av ångförbrukning**

Enligt forskning sker den största delen av rengöringen under sotblåsarens väg in i pannan, utgående från denna kunskap har ny sotblåsningsutrustning utvecklats. Skulle det vara lönsamt att uppgradera en del sotblåsare med One way cleaning, som är Diamond Powers lösning? Diamond tillhandahåller även dysrör med s.k. geminidysor, vilka är utvecklade för att minska på ångförbrukningen.

6.2 Konklusioner

Detta har på många sätt varit ett mycket intressant projekt. Problemet har varit konkret och således intressant att ta tag i, därför har jag alltid varit väldigt motiverad trots att det tidvis inte varit lätt att komma framåt. Tack vare tillgång till bra material har jag lärt mig väldigt mycket under arbetets gång, inte bara om sotblåsning utan även om kraftverks-, energiteknik och materiallära. Mitt gedigna intresse för området har underlättat informationssökningen i och med att jag alltid varit väldigt engagerad i att utvidga mina kunskaper inom ämnet.

Den rådande debatten kring hållbar utveckling bidrar till en ökad medvetenhet om klimatsituationen. Samtidigt som det forskas kring nya energiformer sker en ständig förbättring av våra existerande anläggningar. Jag tror att sotblåsningstekniken kommer att utvecklas mycket under de kommande åren, det är en så pass viktig åtgärd för att bibehålla verkningsgraden i en förbränningsanläggning. Genom att optimera sotningen kan värmeöverföringen hållas hög samtidigt som man sparar på ånga. Bränsle i form av energiavfall och returträ ställer också högre krav på sotningsutrustningen än vad t.ex. kol har gjort.

Att jobba med projekt skiljer sig mycket från de uppgifter man har löst under studietiden. De uppgifter som har innefattats av utbildningen har enligt min mening allt för ofta varit uppbyggda så att svaret är det viktiga. I de flesta fall har en beskrivning av tillvägagångssättet således funnits att tillgå. I projektarbete blir även vägen till målet viktig, projektet kan ta stora vändningar under arbetets gång. Genom att självständigt jobba med ett projekt utvecklas både ens kunnande och tankesätt, man utvecklar sin förmåga att självständigt inhämta den kunskap som krävs under arbetets gång.

Med facit i hand finns det flera saker jag skulle göra annorlunda. I början av projektet stirrade jag mig blind på en möjlig orsak till problemet istället för att vara öppen och försöka se andra möjliga orsaker. Fick jag ett liknande projekt igen skulle jag i ett mycket tidigare skede ta kontakt med leverantörer och andra sakkunniga. Jag är ändå nöjd med projektet, jag har lärt mig mycket under arbetets gång och det känns bra att arbetet har fört med sig resultat.

7 Källförteckning

Alvarez, H. (2003). *Energiteknik del 2*. Lund: Studentlitteratur.

Clyde-Bergemann. (2005).

http://www.clydebergemann.com/content_manager/go/ID/28680/dbc/ (Hämtat: 29 mars 2011)

Diamond Power Oy. (2006). Hämtat från www.diamondpower.com:

http://www.diamondpower.com/portal/server.pt?open=18&objID=46164&parentname=CommunityPage&parentid=8&mode=2&in_hi_userid=7765&cached=true (Hämtat: 29 mars 2011)

Eklund A., R. Å. (Oktober 2004). *Värmeforsk*.

<http://www.varmeforsk.se/rapporter?action=show&id=1505> (Hämtat: 20 februari 2011)

Gustafsson, B. A. *Materiallära*. Almqvist&wiksell.

Hjörnhede A., H. P. (Mars 2006). *Värmeforsk*. Rapport 970:

<http://www.varmeforsk.se/rapporter?action=show&id=1944> (Hämtat: 10 februari 2011)

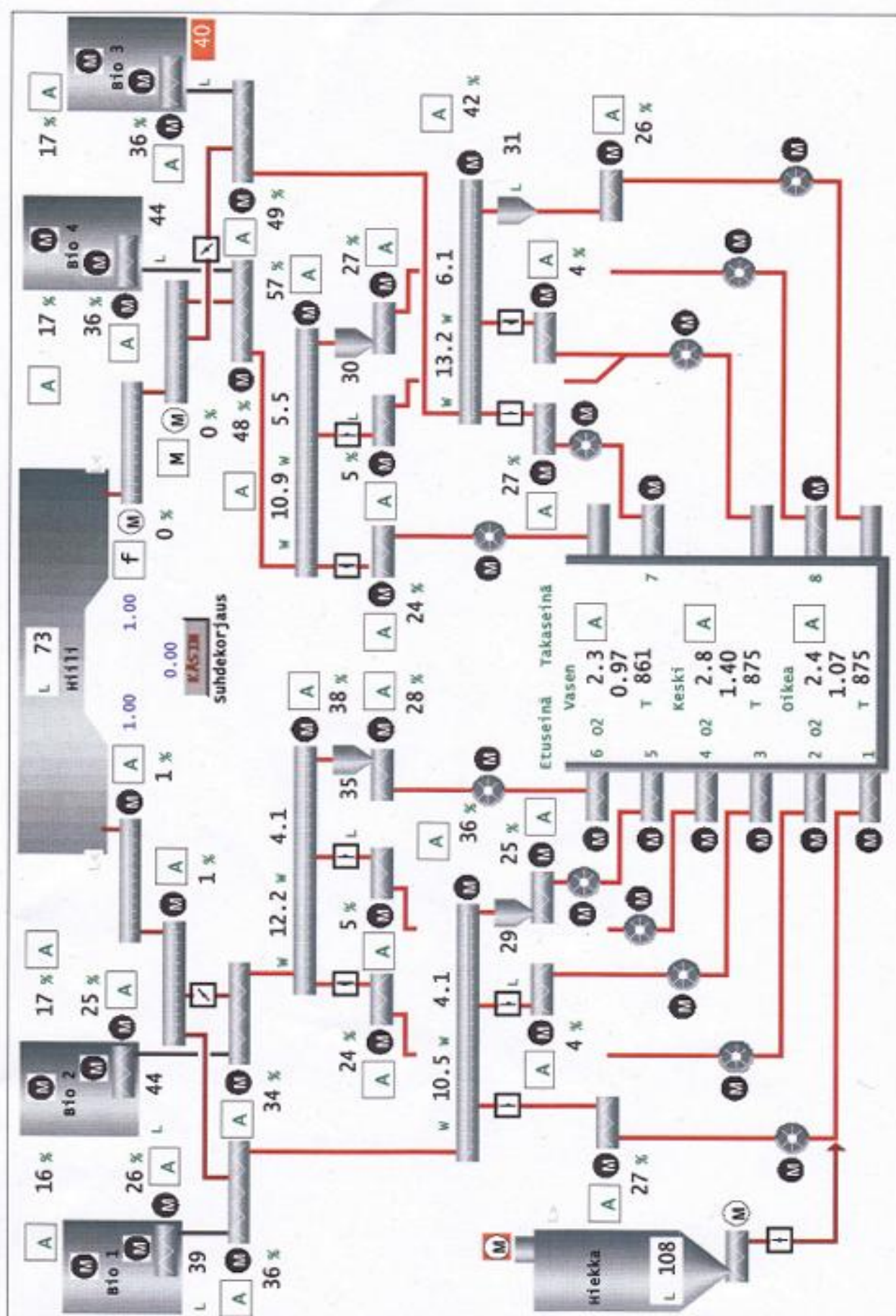
Kvaerner Power, Kari Fält. (2001). *Drift- och underhållsinstruktioner, Sotblåsare pärm 6/20*.

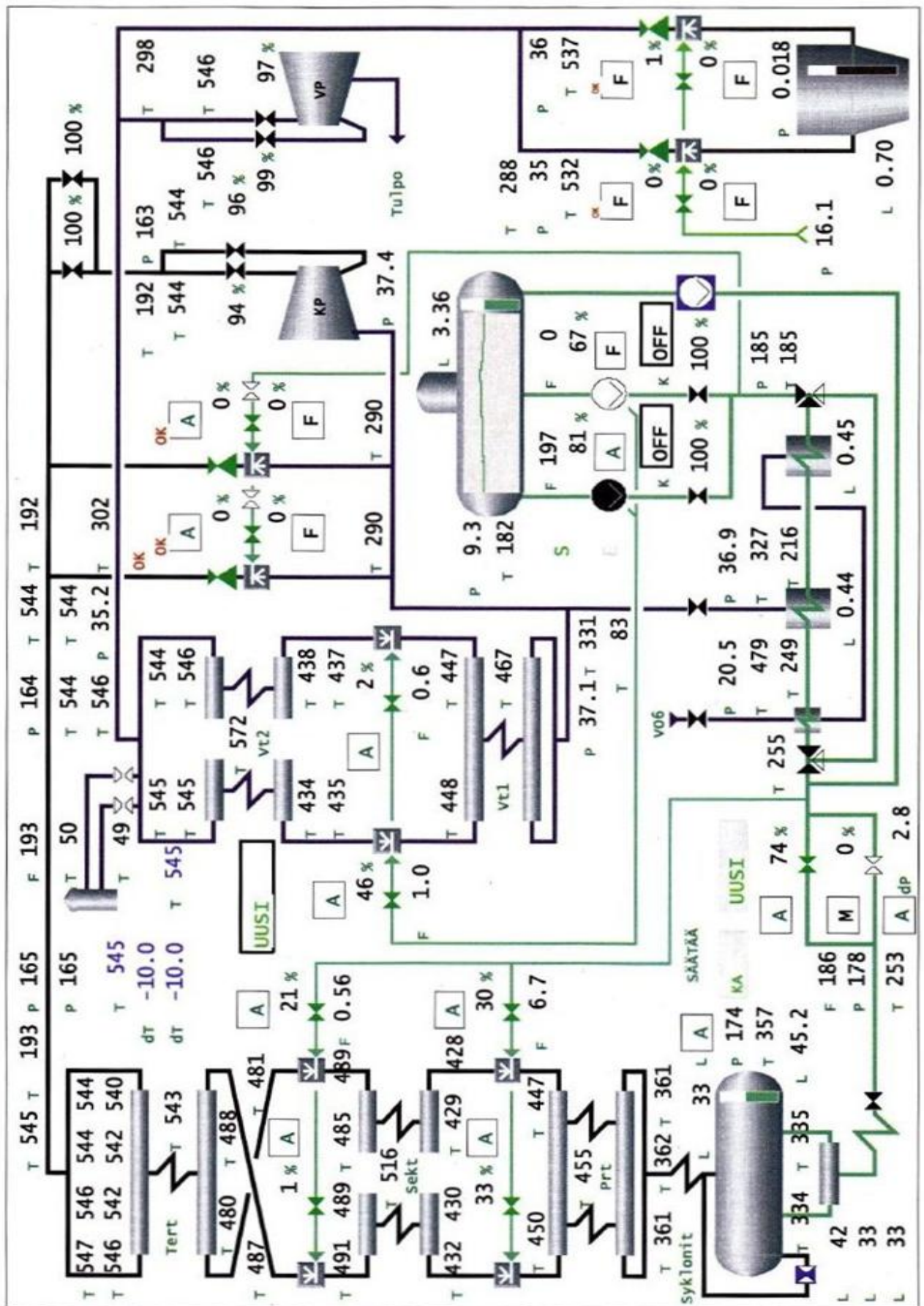
Kvaerner Pulping Oy Jurttila J., Roppo M. (2001). *Drift- och underhållsinstruktioner för panna*.

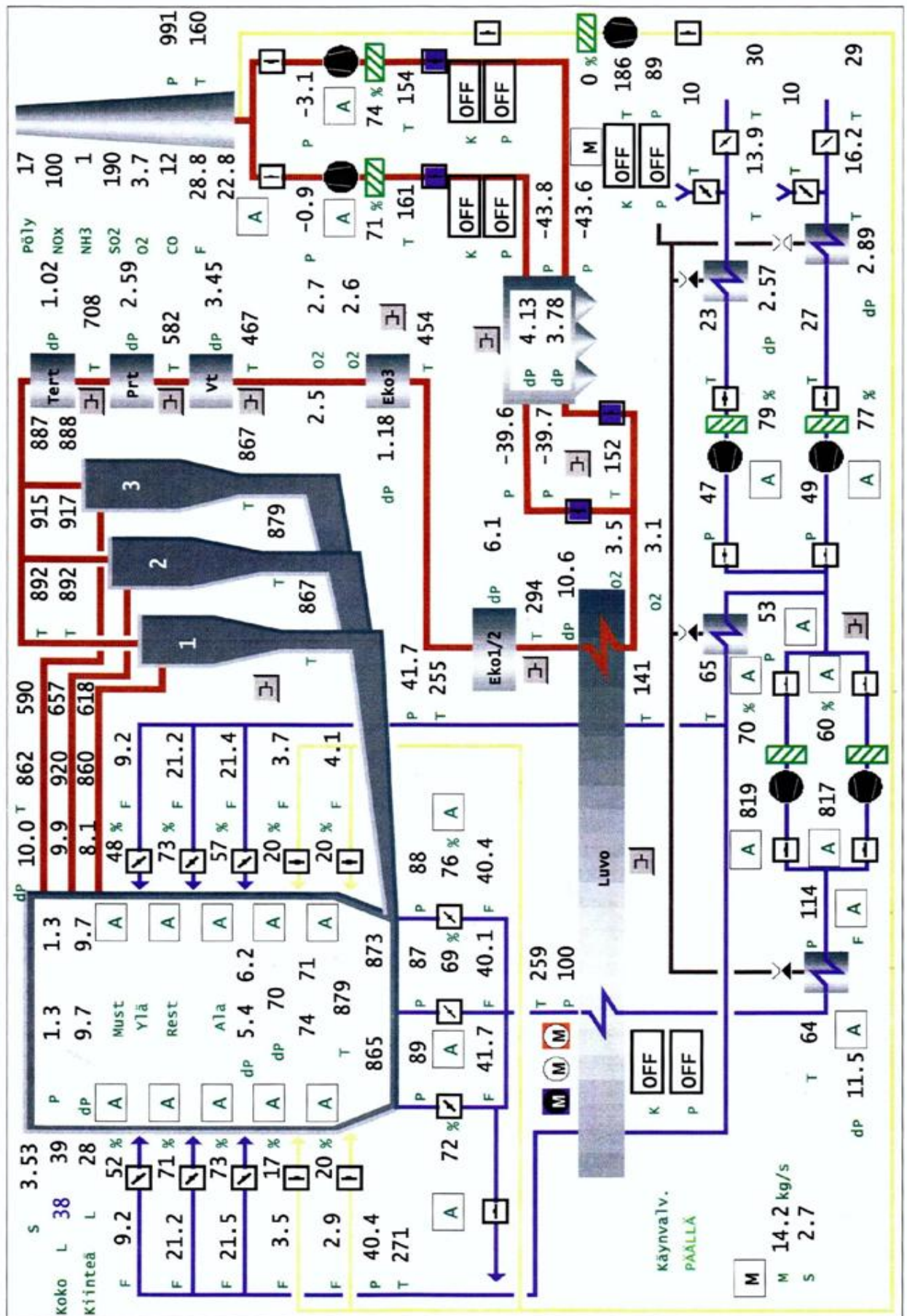
Svedin K., W. E. (Februari 2009). *Värmeforsk*. Sotningsmetoder och sotångförbrukning i svenska sodapannor:

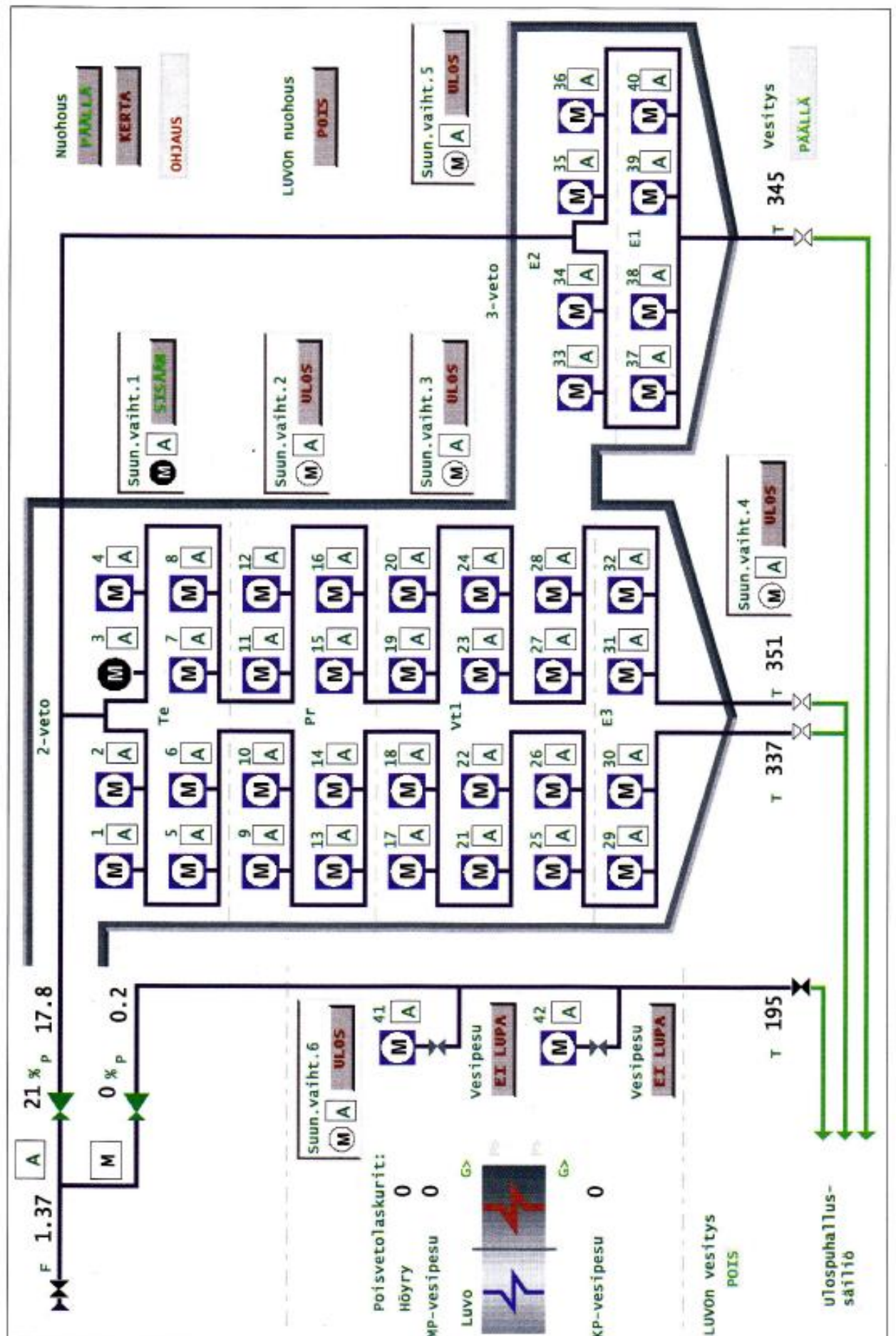
<http://www.varmeforsk.se/rapporter?action=show&id=2113> (Hämtat: 3 mars 2011)

Ab Sprängsotning. (u.d.) <http://www.sprangsotning.se/?menu=metoder> (Hämtat: 20 februari 2011)









Steg	Position	Turbineffekt [MW]	Turbineffekt vid SB [MW]	Skillnad
A	HT-turbin	66,104	66,104	0,000
B	MT-turbin, 3-4	23,319	23,319	0,000
C	MT-turbin, 4-5	34,379	33,964	0,415
D	MT-turbin 5-6	37,198	36,717	0,481
E	MT-turbin 6-8	24,528	24,202	0,326
F	LT-turbin 9-10	11,006	10,850	0,155
G	LT-turbin 10-11	23,066	22,719	0,347
H	LT-turbin 11-12	16,092	15,834	0,258
-	Totalt, HT	66,104	66,104	0,000
-	Totalt, MT	119,425	118,203	1,222
-	Totalt, LT	50,163	49,403	0,760
-	Hela turbinen	235,692	233,710	1,982

Index	Förklaring	P [bar]	T [°C]	\dot{m} [kg/s]	i [kJ/kg]
1	Före HT-turbin	162,0	540,0	194,0	3409,9
2	Efter HT-turbin	40,3	332,4	192,7	3047,9
3	Före MT-turbin	35,9	543,0	177,9	3548,1
4	VO6	22,4	473,6	12,1	3407,0
5	VO5	10,5	362,5	11,2	3183,8
6	VO4	3,64	230,0	7,8	2924,8
7	VO3	1,5	138,4	5,0	2749,3
8	Efter MT-turbin	1,5	138,4	141,6	2749,3
9	Före LT-turbin	1,48	138,3	141,6	2749,3
10	VO2	0,756	92,0	8,6	2647,7
11	VO1	0,139	52,4	7,8	2421,0
12	Efter LT-turbin	0,0199	17,4	125,2	2252,6

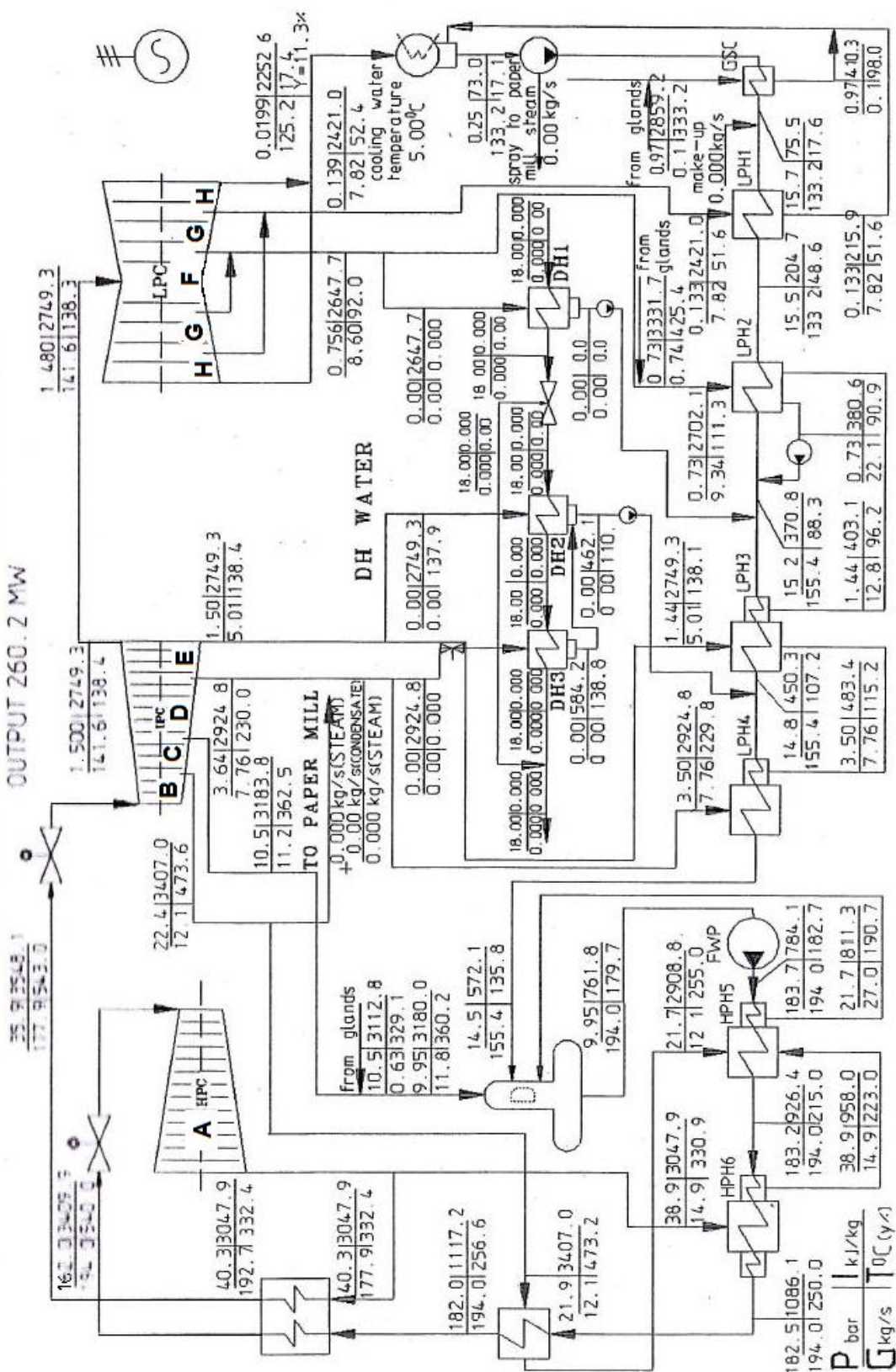
I värmebalansdiagrammet på följande sida kan de olika stegen studeras.

Förkortning	Förklaring
HT	Högtryck
MT	Mellantryck
LT	Lågtryck
VO	Väliotto (mellanavtappning)
SB	Sotblåsning

Verkningsgrad	η
HT-turbin	0,891
MT-turbin	0,929
LT-turbin	0,765
Generator	0,99

ГАРАНТИЙНАЯ ТОЧКА "А" СХЕМА ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ТУРБИНЫ К-255-162

OUTPUT 260.2 MW



Rev	Sheet	Docum. №	Signature	Date	70231690 / 9190001 PP	Лист
№	Лист	Документ №	Подпись	Дата		Sheet
						6